

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 7月16日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-207471

[ST.10/C]:

[JP2002-207471]

出 願 人

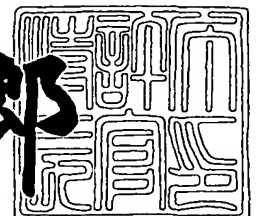
Applicant(s):

アンリツ株式会社

2003年 6月10日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3045232

【書類名】 特許願

【整理番号】 A000203489

【提出日】 平成14年 7月16日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 31/10

【発明の名称】 半導体受光素子

【請求項の数】 9

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区南麻布五丁目10番27号 アンリツ株式会
社内

【氏名】 河野 健治

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区南麻布五丁目10番27号 アンリツ株式会
社内

【氏名】 吉田谷 弘明

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区南麻布五丁目10番27号 アンリツ株式会
社内

【氏名】 平岡 淳

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区南麻布五丁目10番27号 アンリツ株式会
社内

【氏名】 佐々木 雄一

【特許出願人】

【識別番号】 000000572

【氏名又は名称】 アンリツ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100058479

【弁理士】

【氏名又は名称】 鈴江 武彦

【電話番号】 03-3502-3181

【選任した代理人】

【識別番号】 100084618

【弁理士】

【氏名又は名称】 村松 貞男

【選任した代理人】

【識別番号】 100068814

【弁理士】

【氏名又は名称】 坪井 淳

【選任した代理人】

【識別番号】 100092196

【弁理士】

【氏名又は名称】 橋本 良郎

【選任した代理人】

【識別番号】 100091351

【弁理士】

【氏名又は名称】 河野 哲

【選任した代理人】

【識別番号】 100088683

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 誠

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011567

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

特 2 0 0 2 - 2 0 7 4 7 1

【包括委任状番号】 9105972

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書
 【発明の名称】 半導体受光素子
 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に、光導波路としての機能を有する第 1 の半導体層を含む下部半導体層、前記第 1 の半導体層より高い屈折率を有する光吸収層、前記第 1 の半導体層より低い屈折率を有する第 2 の半導体層を含む上部半導体層を順番に積層し、前記基板と前記下部半導体層と前記光吸収層の少なくとも一つの端面を含む光入射端面から所定角度で入射した光が前記光吸収層において吸収されることにより生じた電流を、前記上部半導体層及び下部半導体層をそれぞれ経て電極から外部に出力する半導体受光素子であって、

前記光吸収層に入射した光の一部は前記光吸収層内と前記第 1 の半導体層内との少なくとも一方を前記第 2 の半導体層の下面に平行方向に伝搬し、かつ前記光吸収層に入射した光の他の一部は前記第 2 の半導体層の下面で反射し前記光吸収層内及び前記第 1 の半導体層内を斜め方向に伝搬することを特徴とする半導体受光素子。

【請求項 2】 前記光入射端面と前記光吸収層の下面とのなす角度が 90 度であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体受光素子。

【請求項 3】 前記光入射端面と前記光吸収層の下面とのなす角度は、90 度未満で、かつ前記光入射端面を構成する材料の結晶方位で定まる角度であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体受光素子。

【請求項 4】 前記光入射端面と前記光吸収層の下面とのなす角度は、90 度未満で、かつ前記光入射端面を構成する材料の結晶方位で定まる角度より大きな角度であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体受光素子。

【請求項 5】 前記第 1 の半導体層が 4 元組成の半導体材料からなることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項記載の半導体受光素子。

【請求項 6】 前記光入射端面に入射する光にとって、前記下部半導体層の等価屈折率が前記上部半導体層の屈折率よりも高くなるように、前記下部半導体層は屈折率の高い層と低い層の組合せからなることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項記載の半導体受光素子。

【請求項 7】 前記下部半導体層が n 型の半導体材料からなり、前記上部半導体層が p 型の半導体材料からなることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項記載の半導体受光素子。

【請求項 8】 前記下部半導体層が p 型の半導体材料からなり、前記上部半導体層が n 型の半導体材料からなることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項記載の半導体受光素子。

【請求項 9】 前記光の前記光入射端面に対する入射位置と入射角度との少なくとも一方を調整することにより、この入射した光が前記光吸収層に照射されるようにしたことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項記載の半導体受光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は入射した光を電流に変換する半導体受光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

入射した光を電流に変換する半導体素子で形成された一般的な半導体受光素子の構成を図 1 3 に示す斜視図を用いて説明する。

【0003】

n⁺-InP からなる基板 6 上に、n-InP からなる下部クラッド層 5 が形成され、この下部クラッド層 5 上に i-InGaAs からなる光吸収層 4、p-InP からなる上部クラッド層 3、p⁺-InGaAs からなるコンタクト層 2 が形成されている。このコンタクト層 2 の上面に p 電極 1 が取付けられ、基板 6 の下面に n 電極 7 が取付けられている。さらに、側面にポリイミド 8 が形成されている。

【0004】

i-InGaAs からなる光吸収層 4 と p-InP からなる上部クラッド層 3 と n-InP からなる下部クラッド層 5 とは、図 1 3 に示すように、この半導体受光素子の端面の光入射面から内部に入射した光を導波する光導波路を構成している。この光導波路は、光吸収層 4 の屈折率を、上部クラッド層 3 の屈折率、下部クラッド層 5 の

屈折率より高く設定し、この光吸収層 4 が入射した光を導波する中心的な役割をするコアとして機能している。

【 0 0 0 5 】

このように構成された半導体受光素子においては、入射光は、i-InGaAsからなる光吸収層 4、p-InPからなる上部クラッド層 3 及び n-InPからなる下部クラッド層 5 で構成された光導波路を伝播する間に、光吸収層 4 により吸収され、電気信号に変換される。この時、光はその強度 I が(1)式に従って吸収される。

【 0 0 0 6 】

$$I = I_0 \exp(-\alpha z) \quad \dots (1)$$

ここで、 I_0 は光入射端面での入射光のパワー、 α は吸収係数、 z は光入射端面からの距離である。

【 0 0 0 7 】

図 1 4 にこの半導体受光素子の光導波路内を伝搬する光の強度 I と距離 z との関係を示す。

【 0 0 0 8 】

(1)式と図 1 4 から理解できるように、光は光導波路内に入射すると指数関数的に減衰する。すなわち、光は、光入射端面から短い距離の間にほとんど吸収され、電流に変換される。図 1 4 の縦軸は、光が光吸収層 4 内を伝搬するとともに各点において光が吸収されたために生じる電流を示している。各点において生じる熱は負荷抵抗を R として $I^2 R$ となるので、入射端面から短い距離の間にほとんど吸収されるということは、この短い距離の間に急激に発熱するとも言える。

【 0 0 0 9 】

その結果、入射する光のパワーが大きいと短い距離の間で発生するジュール熱が極めて大きくなり、この半導体受光素子が破壊されてしまうことになる。

【 0 0 1 0 】

なお、図 1 3 の斜視図では説明を簡単化するために省略したが、実際には光導波路を多モード化するために、通常、光吸収層 4 の上下にバンドギャップ波長が $1.3 \mu\text{m}$ 程度の InGaAsP 組成の 4 元 SCH 層を介在させている。そのため、光吸収層 4 の厚みを $0.6 \mu\text{m}$ 、SCH 層が上下合わせて $2 \mu\text{m}$ 程度とすると、成長すべ

き結晶の厚みは合計3～4 μm と厚くなり、結晶成長そのものにも時間がかかるとともに、メサエッチングなどプロセスも複雑になり、製造上の歩留まりを制限する要因となっている。

【0011】

このような不都合を解消するために、図15、16に示す装荷光導波路型の半導体受光素子が提唱されている。なお、図15は斜視図であり、図16は横断面図である。図13に示す半導体受光素子と同一部分には同一符号が付してある。

【0012】

n^+ -InPからなる基板6上に、装荷光導波路層9が形成され、この装荷光導波路層9上に、 i -InGaAsからなる光吸収層4、 p -InPからなる上部クラッド層3、 p^+ -InGaAsからなるコンタクト層2が形成されている。このコンタクト層2の上面に p 電極1が取付けられ、基板6の下面に n 電極7が取付けられている。さらに、側面にポリイミド8が形成されている。

【0013】

装荷光導波路層9としては、その屈折率が光吸収層4よりも小さく、かつ基板6よりも大きな材料が適しており、例えば、バンドギャップ波長1.3 μm を有する n -InGaAsPなどが使用される。

【0014】

このような、装荷光導波路型の半導体受光素子において、図15、図16に示すように、外部から光を装荷光導波路層9の端面に入射させる。この装荷光導波路層9内を伝搬する光の一部（エバネッセント波）が、図16の断面図に示すように、隣接する光吸収層4に染み出して結合（エバネッセント結合）しており、その光の受光感度は、装荷光導波路層9に固有な波動関数 ϕ_S と光吸収層4の固有波動関数 ϕ_C との重なり積分の絶対値の2乗

$$\Gamma = \left| \int \int \phi_S \cdot (\phi_C)^* dx dy \right|^2 \quad \dots (2)$$

に比例する。

【0015】

図17に光が装荷光導波路層9を伝搬しつつ光吸収層4にエバネッセント結合し、吸収される様子を模式的に示す。図17(a)が装荷光導波路層9の厚みD

が薄い場合（例えば、 $D = 0.7 \mu\text{m}$ ）を示し、図 1 7（b）が装荷光導波路層 9 の厚み D が厚い場合（例えば、 $D = 3.5 \mu\text{m}$ ）を示す。

【 0 0 1 6 】

また、図 1 8 に半導体受光素子内を伝搬する光のパワー I を光吸収層 4 内での距離 z の関数として示す。図 1 8（a）が装荷光導波路層 9 の厚み D が薄い場合（例えば、 $D = 0.7 \mu\text{m}$ ）を示し、図 1 8（b）が装荷光導波路層 9 の厚み D が厚い場合（例えば、 $D = 3.5 \mu\text{m}$ ）を示す。

【 0 0 1 7 】

図 1 7（a）と図 1 8（a）に示す装荷光導波路層 9 の厚み D が薄い場合には、装荷光導波路層 9 を伝搬する光のスポットサイズが小さく、装荷光導波路層 9 を伝搬する光は光吸収層 4 へ強くエバネッセント結合する。別の表現をすると、装荷光導波路層 9 を伝搬する光のスポットサイズが小さいため、装荷光導波路層 9 を伝搬する光の波動関数 ϕ_S のうち、光吸収層 4 に重なる部分の値が大きくなるので(2)式で示した Γ も大きくなる。なお、装荷光導波路層 9 の端面に入射する光のスポットサイズは、装荷光導波路層 9 の厚み D に係わらず等しく設定されている。

【 0 0 1 8 】

その結果、半導体受光素子として要求される受光感度を実現するために必要な光吸収層 4 の長さ L_a を短くできるものの、図 1 3 に示した半導体受光素子と同様に、短い距離 z において大きなジュール熱が発生し、素子が破壊されることになる。

【 0 0 1 9 】

このジュール熱による素子破壊を避けるには、装荷光導波路層 9 を伝搬する光の光吸収層 4 へのエバネッセント結合の度合いを弱くする、つまり、図 1 7（b）と図 1 8（b）に示すように、装荷光導波路層 9 の厚み D を厚くすることにより、装荷光導波路層 9 を伝搬する光のスポットサイズを大きくすればよい。別の表現をすれば、装荷光導波路層 9 を伝搬する光の波動関数 ϕ_S のうち光吸収層 4 に重なる部分の値を小さくすれば良いことになる。但し、この場合には、(2)式で示した Γ も小さくなるので、半導体受光素子として要求される受光感度を実現

するために必要な光吸収層 4 の長さ L_a が長くなってしまいます。

【 0 0 2 0 】

この光吸収層 4 の長さ L_a が長くなるということは、半導体受光素子としてのキャパシタンス C が大きくなることに対応するので、3 dB 帯域 Δf ($= 1 / (\pi RC)$) が小さくなり、この半導体受光素子を 40 Gbps のような高速伝送システムへの適用は困難となる。

【 0 0 2 1 】

また、この場合には装荷光導波路層 9 の厚み D が厚いので成長すべき半導体層の厚みの総和が厚くなり、結晶成長への負担が著しく大きくなる。一般に、3 μ m 以上厚く結晶成長すると、結晶成長した半導体層に歪が内在し、その上に成長した光吸収層 4 の膜質が劣化する。この膜質の劣化は光伝送においてきれいなアイパターンを実現するために不可欠な半導体受光素子としての暗電流特性を損なうことが知られている。

【 0 0 2 2 】

さらに、装荷光導波路層 9 の厚み D を厚くし、スポットサイズを大きくすると、コンタクト層 2 に起因する光吸収損を低減するために、上部クラッド層 3 も厚くする必要があり、良好な結晶成長がよりいっそう困難になってしまう。

【 0 0 2 3 】

以上のように、図 15、図 16 に示す装荷光導波路型の半導体受光素子においては、高速動作を実現するために、光吸収層 4 の長さ（素子長） L_a が短くなるように装荷光導波路層 9 を伝搬する光のスポットサイズを小さくすればジュール熱により素子が破壊されやすく、またこの熱破壊を避けるために装荷光導波路層 9 を伝搬する光のスポットサイズを大きくすれば、素子長 L_a が長くなる。その結果、高速動作が困難になるという問題点があった。また厚く成長した結晶の上に結晶性の良い暗電流の少ない光吸収層 4 の成長は困難であり、半導体受光素子としての特性が劣化するという問題点もあった。

【 0 0 2 4 】

このような不都合を解消するために、図 19 の横断面図で示すような構造を有した端面屈折型の半導体受光素子が提唱されている（特開平11-195807号公報）

【0025】

半絶縁性InP (SI-IP) 材料で形成された基板11上に、 n^+ -InPからなる下部クラッド層10、 i -InGaAsからなる光吸収層4、 p -InPからなる上部クラッド層3、 p^+ -InGaAsからなるコンタクト層2が形成されている。そして、このコンタクト層2の上側に p 電極1を取付け、 n -InPからなる下部クラッド層10に n 電極7を取付けている。

【0026】

そして、この受光素子においては、図19で示したように、基板11と下部クラッド層10との端面で形成される光入射端面12をウェットエッチングにより傾斜させている。なお、光入射端面12の下部クラッド層10の上面（光吸収層4の下面）に対する傾斜角はエッチングの際に結晶の方位性から約54度となる。

【0027】

このような構造を有した端面屈折型の半導体受光素子の動作原理を説明する。入射した光は傾斜した入射端面12において屈折された後、光吸収層4において吸収され、電流に変換される。具体的には、この端面屈折型の半導体受光素子の場合、空気（屈折率=1）と n^+ -InPからなる下部クラッド層10（InPの屈折率は3.17であるが、 n^+ ドーピングのためにその屈折率は3.15程度に下がる）の屈折率の違いにより光はその光路を斜め上方に変えられ、光吸収層4を斜め上方に通過する。

【0028】

このように、この端面屈折型の半導体受光素子の場合、光を光吸収層4を斜めに通過させることにより、この光吸収層4を通過する際の実効的な吸収長を長くし、受光感度を高めている。

【0029】

しかしながら、実際には光吸収層4を斜め上方に通過した光はさらに上部クラッド層3とコンタクト層2を斜め上方に伝搬した後、 p 電極1の下面で反射され、斜め下向きに光路の向きを変えられる。次に、再度コンタクト層2と上部クラ

ッド層 3 を通過後、光吸収層 4 を斜め下方に通過する。

【 0 0 3 0 】

ところが、残念ながら、 p^+ -InGaAs からなるコンタクト層 2 において吸収された光は電流に変換されないため、単に光吸収損となってしまう。さらに、p 電極 1 の下面における反射の際、この p 電極 1 の下面の荒れのため光散乱損が生じる。このように、この端面屈折型の半導体受光素子は損失が生じやすく、その結果その受光感度は $0.6 A/W$ もしくはそれ以下と低く留まっていた。

【 0 0 3 1 】

このような受光感度に関する問題点を解消するために、図 2 0 の横断面図で示すような構造を有した半導体受光素子が提唱されている（特開 20001-53328 号公報）。

【 0 0 3 2 】

半絶縁性 InP (SI-IP) 材料で形成された基板 1 1 上に、InGaAsP 層 1 4、n-InGaAsP 層 1 3、i-InGaAs からなる光吸収層 4、p-InP からなる上部クラッド層 3、 p^+ -InGaAs からなるコンタクト層 2 が形成されている。そして、このコンタクト層 2 の上側に p 電極 1 を取付け、n-InGaAsP 層 1 3 に n 電極 7 を取付けている。

【 0 0 3 3 】

そして、この半導体受光素子においては、InGaAsP 層 1 4 と n-InGaAsP 層 1 3 との端面で形成される光入射端面 1 2 をウェットエッチングにより傾斜させている。

【 0 0 3 4 】

このような構造を有した半導体受光素子の動作原理を図 2 1 を用いて説明する。

一般に、n ドーピングをすると屈折率は低減するが、ここでは、説明を簡単にするために、n-InGaAsP 層 1 3 の屈折率 n_{13} と InGaAsP 層 1 4 の屈折率 n_{14} は同じ値である ($n_{13} = n_{14} = 3.439$) と仮定し、図 2 1 では n-InGaAsP 層 1 3 と InGaAsP 層 1 4 を n-InGaAsP 層 1 3 により代表させている。

【 0 0 3 5 】

この半導体受光素子においては、上部クラッド層 3 よりも屈折率が高い InGaAs P 層 1 4 に光の全パワーが入射している。その結果、光は光吸収層 4 中において吸収されつつ斜め上方に伝搬した後、光吸収層 4 と上部クラッド層 3 の界面において全反射される。

【 0 0 3 6 】

さて、特開 2001-53328 号公報の第 1 の請求項には「前記下部半導体層側から入射した入射光が、前記光吸収層を膜厚方向に対し斜めに通過し、前記第一の半導体層の前記光吸収層側の界面で全反射し、前記光吸収層を再度斜めに通過することを特徴とする」と記載され、発明の詳細な説明には「100%の光が再度光吸収層を通過し吸収される」、「受光層を光が 2 回通過することになり、実効的光吸収長が 2 倍となる」と記載されている。さらに、特開 2001-53328 号公報に図示された全ての実施形態においても、光は全反射後、斜め下方に伝搬し、光吸収層を通過している。

【 0 0 3 7 】

つまり、この半導体受光素子では、図 2 1 に示したように光は光吸収層 4 中において吸収されつつ斜め上方に伝搬した後、光吸収層 4 と上部クラッド層 3 の界面においてその 100%の光が反射され、光吸収層 4 を斜め下方に伝搬することになる。

【 0 0 3 8 】

従って、図 2 1 から理解できるように、光吸収層 4 の厚みを T 、光の通過角を ϕ とすると、光にとっての実効的な吸収長 L_e は (3) 式となる。

$$L_e = 2T / \cos \theta = 2T / \cos (\pi / 2 - \phi) \quad \dots (3)$$

つまり、光吸収層 4 の厚み T と光の通過角 ϕ を各々 $0.4 \mu\text{m}$ 、 25.8° とすると、この半導体受光素子においては光の実効的な吸収長 L_e は光吸収層 4 の厚み T の 2.3 倍（なぜならば、 $1 / \cos \theta = 1 / \cos (\pi / 2 - 25.8^\circ) = 2.3$ ）程度に留まり、吸収長としては不十分である。

【 0 0 3 9 】

また、特開 2001-53328 号公報に記載されたの全ての実施形態の説明図や図 2 0 から推測されるように、この半導体受光素子では、光は光吸収層 4 と上部クラッド層 3 の界面において全反射され、光吸収層 4 を再度斜めに通過することになる。

ド層 3 の界面においてその 1 0 0 % の光が反射され、光吸収層 4 を斜め下方に伝搬して通過してしまう。したがって、光吸収層 4 をある程度の長さ以上いくら長くしても受光感度は改善されない。

【 0 0 4 0 】

さらに、このこの半導体受光素子では、記載された実施形態から理解できるように、光の全パワーを InGaAsP 層 1 4 のように屈折率の高い層の中に入射せねばならない。光のスポットサイズ（パワーが $1/e^2$ となる半径）は $2\mu\text{m}$ から $5\mu\text{m}$ 、つまりパワーが $1/e^2$ となる直径では $4\mu\text{m}$ から $10\mu\text{m}$ と大きい。図 1 5、図 1 6 の装荷光導波路型の半導体受光素子で述べたように、厚く成長した結晶の上には、暗電流が少ない結晶性の良い光吸収層を成長することは困難である。

【 0 0 4 1 】

また、特開 2001-53328 号公報の実施形態に示されている GaAs 基板の上に $1.5\mu\text{m}$ 帯用の InGaAsP や InGaAs を結晶成長した構造を製作するのは、格子不整合の観点から実際には不可能である。したがって、この図 2 0 に示す半導体受光素子を実際に製造することは極めて困難であるという問題点があった。

【 0 0 4 2 】

【発明が解決しようとする課題】

以上説明したように、図 1 3 に示す導波路型の半導体受光素子では高光入力時の信頼性に、また図 1 5、図 1 6 に示す装荷光導波路型の半導体受光素子では高光入力時の信頼性、高速応答性、および光吸収層の結晶性（換言すれば、暗電流特性）に、さらに図 1 9、図 2 0 に示す端面屈折型の半導体受光素子では受光感度、あるいは光吸収層の結晶性に問題があった。

【 0 0 4 3 】

本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、光吸収層内へ入射した光の伝搬路を調整することによって、光を効率的に光吸収層で電流に変換で、受光感度、耐光入力性、高速応答性、暗電流特性を大幅に向上できる半導体受光素子を提供することを目的とする。

【 0 0 4 4 】

【課題を解決するための手段】

本発明は、基板上に、光導波路としての機能を有する第1の半導体層を含む下部半導体層、第1の半導体層より高い屈折率を有する光吸収層、第1の半導体層より低い屈折率を有する第2の半導体層を含む上部半導体層を順番に積層し、基板と下部半導体層と光吸収層の少なくとも一つの端面を含む光入射端面から所定角度で入射した光が光吸収層において吸収されることにより生じた電流を、上部半導体層及び下部半導体層をそれぞれ経て電極から外部に出力する半導体受光素子である。

【0045】

さらに、光吸収層に入射した光の一部は光吸収層内と第1の半導体層内との少なくとも一方を第2の半導体層の下面に平行方向に伝搬し、かつ光吸収層に入射した光の他の一部は第2の半導体層の下面で反射し光吸収層内及び第1の半導体層内を斜め方向に伝搬する。

【0046】

このように構成された半導体受光素子においては、第1の半導体層を含む下部半導体層と、第1の半導体層よりも低い屈折率を有する第2の半導体層を含む上部半導体層とで、第1の半導体層よりも高い屈折率を有する光吸収層を挟んでいる。

【0047】

そして、光入射端面に所定角度で光を入射すると、この光は光吸収層を斜めに伝搬し、一部は第2の半導体層の下面で反射する。この反射した光は光吸収層内及び第1の半導体層内を斜め方向に伝搬する。この光吸収層内及び第1の半導体層内を斜め方向に伝搬する過程で、光が光吸収層に直接又はエバネッセント結合にて吸収される。

【0048】

さらに、この発明においては、光吸収層を斜めに伝搬した光の一部は、第2の半導体層の下面で反射せずに、すなわち光吸収層及び第1の半導体層内を斜め下に伝搬せずに、光吸収層内又は第1の半導体層内を第2の半導体層の下面に平行方向に伝搬する。したがって、この光は、光吸収層の長さの全体を有効に利用し

て吸収され、電流に変換されるので、半導体受光素子としての帯域の許す限り、光吸収層の長さを長くすることにより受光感度を高めることが可能である。

【 0 0 4 9 】

また、本発明の半導体受光素子においては、斜め下から光吸収層の下面の広い領域に渡って光を照射する。したがって、光導波路型の半導体受光素子や薄い装荷光導波路を有する装荷光導波路型の半導体受光素子と異なり、光吸収層のある特定の一部分への電流集中が発生しないため、ジュール熱による素子破壊を避けることが可能である。

【 0 0 5 0 】

また、光のパワーの大きな部分を斜め下から光吸収層に直接照射でき、かつ光の一部を光吸収層や第 1 の半導体層に伝搬させ、吸収させるので、厚い装荷光導波路を有する装荷光導波路型の半導体受光素子や端面屈折型の半導体受光素子と比較して、受光感度が高く、結果的に短い光吸収長で済むので C R 時定数から制限される帯域が広い。

【 0 0 5 1 】

さらに、第 1 の半導体層の厚みは入射する光の直径よりも小さくても良いので、半導体製造時における結晶成長への負担が小さく、半導体受光素子としての製作性が良く、優れた特性の半導体受光素子を実現できる。

【 0 0 5 2 】

また別の発明は、上述した発明の半導体受光素子における光入射端面と光吸収層の下面とのなす角度を 9 0 度に設定している。

【 0 0 5 3 】

また別の発明は、上述した発明の半導体受光素子における光入射端面と光吸収層の下面とのなす角度を、9 0 度未満で、かつ光入射端面を構成する材料の結晶方位で定まる角度に設定している。

【 0 0 5 4 】

また別の発明は、上述した発明の半導体受光素子における光入射端面と光吸収層の下面とのなす角度を、9 0 度未満で、かつ光入射端面を構成する材料の結晶方位で定まる角度より大きな角度に設定している。

【 0 0 5 5 】

また別の発明は、上述した発明の半導体受光素子における第 1 の半導体層を 4 元組成の半導体材料で構成している。

【 0 0 5 6 】

また別の発明は、上述した発明の半導体受光素子における光入射端面に入射する光にとって、下部半導体層の等価屈折率が前記上部半導体層の屈折率よりも高くなるように、下部半導体層は屈折率の高い層と低い層の組合せで構成している。

【 0 0 5 7 】

また別の発明は、上述した発明の半導体受光素子における下部半導体層が n 型の半導体材料で構成され、上部半導体層が p 型の半導体材料で構成されている。

【 0 0 5 8 】

また別の発明は、上述した発明の半導体受光素子における下部半導体層が p 型の半導体材料で構成され、上部半導体層が n 型の半導体材料で構成されている。

【 0 0 5 9 】

また別の発明は、上述した発明の半導体受光素子における光の光入射端面に対する入射位置と入射角度との少なくとも一方を調整することにより、この入射した光が光吸収層に照射されるようにしている。

【 0 0 6 0 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の各実施形態を図面を用いて説明する。

（第 1 実施形態）

図 1 は本発明の第 1 実施形態に係わる半導体受光素子の概略構成を示す横断面図である。図 1 9 に示す従来の半導体受光素子と同一部分には同一符号を付して、重複する部分の詳細説明を省略する。

【 0 0 6 1 】

半絶縁性 InP (SI-InP) 材料で形成された基板 1 1 上に、n-InGaAsP からなる光導波路層 1 5、i-InGaAs からなる光吸収層 4、p-InP からなる上部クラッド層 3、 p^+ -InGaAs からなるコンタクト層 2 が積層されている。そして、このコンタク

ト層 2 の上側に電流を取出すための p 電極 1 を取付け、n-InGaAsP からなる光導波路層 1 5 に同じく電流を取出すための n 電極 7 を取付けている。さらに、基板 1 1 の下側に配置されたくさび型の台座 1 6 にて、半導体受光素子は傾斜されている。なお、n-InGaAsP からなる光導波路層 1 5 は、電流を取出すための n 電極 7 に対するオーミックコンタクト層の機能をも有する。

【 0 0 6 2 】

そして、この半導体受光素子においては、基板 1 1 と光導波路層 1 5 と光吸収層 4 の少なくとも 1 つの端面で形成される光入射端面 1 2 と光吸収層 4 の下面とのなす角度は 9 0 度に設定されている。具体的には、光入射端面 1 2 をへき開で形成している。

【 0 0 6 3 】

このような構成の半導体受光素子において、n-InGaAsP からなる光導波路層 1 5 が下部半導体層を構成する第 1 の半導体層を構成し、p-InP からなる上部クラッド層 3 が上部半導体層を構成する第 2 の半導体層を構成している。

【 0 0 6 4 】

さらに、この第 1 実施形態の半導体受光素子における、上部クラッド層 3、光吸収層 4、光導波路層 1 5、基板 1 1 の各屈折率 n_3 、 n_4 、 n_{15} 、 n_{11} の大小関係は、 $n_3 (=3.17) = n_{11} (=3.17) < n_{15} (=3.35) < n_4 (=約3.6)$ に設定されている。

【 0 0 6 5 】

このように構成された第 1 実施形態の半導体受光素子の動作原理を図 2、図 3 を用いて説明する。

【 0 0 6 6 】

この半導体受光素子においては、光吸収層 4 の上方の上部クラッド層 3 よりも屈折率の高い例えばバンドギャップ波長が $1.2 \mu\text{m}$ の光導波路層 1 5 と基板 1 1 のうち、光が少なくとも光導波路層 1 5 の端面に入射すると、この入射光はその高い屈折率を感じる。したがって、入射光にとっての等価屈折率 n_e は基板 1 1 よりも高くなる。ここで、上部クラッド層 3 の屈折率 n_3 と基板 1 1 の屈折率 n_{11} は上述したようにほぼ等しいため、結果的に入射光にとっての等価屈折率 n

eを上部クラッド層3よりも高くすることができる。

【0067】

光導波路層15と光吸収層4との界面において成立するスネルの式は

$$n_e \sin \theta_{15} = n_4 \sin \theta_4 \quad \dots (4)$$

となる。また、光吸収層4と上部クラッド層3との界面において

$$n_4 \sin \theta_4 = n_3 \quad \dots (5)$$

つまり、(5)式を(4)式に代入して得られる(6)式

$$n_e \sin \theta_{15} = n_3 \quad \dots (6)$$

が成立すれば、その界面において全反射が生じる。

【0068】

そのためには、光導波路層15と基板11の屈折率 n_{15} 、 n_{11} を考慮し、光に少なくとも光導波路層15の高い屈折率を感じさせるとともに、光の入射角を適切に選ぶことが重要となる。

【0069】

光導波路層15を光が伝搬できる装荷光導波路として機能できるように設計するとともに、図2で示す上部クラッド層3に対する入射角 θ_4 が光の全反射が起きる臨界角以上となるように設定すると、光吸収層4と上部クラッド層3との界面において光吸収層4を斜めに伝搬する反射光の他に、水平方向に伝搬する水平伝搬光が発生する。

【0070】

図3は、上述した条件で光を光入射端面12から入射させた場合における半導体受光素子内の光強度分布図である。光吸収層4と上部クラッド層3との界面で反射されて光吸収層4及び光導波路層15を斜め右下方向に伝搬する反射光の他に、光吸収層4内を水平方向に伝搬する水平伝搬光が存在することが確認できる。

【0071】

したがって、光を効率良く、光吸収層4内及び光導波路層15内を伝搬させることが可能となる。この光吸収層4内及び光導波路層15内を伝搬する光は光吸収層4により吸収され、電流に変換される。

【 0 0 7 2 】

図 4 に、試作した第 1 実施形態の半導体受光素子における特性の測定結果を示す。縦軸は測定された受光感度 (A/W) であり、横軸は光吸収層 4 の長さである。この図 4 の測定結果から理解できるように、光吸収層 4 の長さが $30\ \mu\text{m}$ 以上でも受光感度が改善されている。なお、試作した各半導体受光素子はその光吸収層 4 の厚み T は $0.5\ \mu\text{m}$ であり、光導波路層 15 の厚み D が $2.0\ \mu\text{m}$ である。なお、水平からの光の入射角は 40° である。

【 0 0 7 3 】

図 5 に示すように、光導波路層 15 の下端から光が入射した場合に、光吸収層 4 と上部クラッド層 3 との界面で光が 1 回反射した後、光吸収層 4 を抜けてしまうと仮定した場合の光吸収層 4 の長さ L_{max} は $20\ \mu\text{m}$ よりかなり短い。ところが、前述のように光吸収層 4 の長さが $30\ \mu\text{m}$ 以上でも受光感度が改善されている。

【 0 0 7 4 】

このことは、光吸収層 4 と上部クラッド層 3 との界面で反射された光の他に、光吸収層 4 や光導波路層 15 の長さ方向に伝搬する光の成分があり、それが光吸収層 4 に吸収されるためと考えられる。

【 0 0 7 5 】

このように、第 1 実施形態の半導体受光素子は、図 20 に示した従来の半導体受光素子と異なり、半導体受光素子としての帯域の許す限り、光吸収層 4 の長さを長くすることにより受光感度を高めることが可能である。

【 0 0 7 6 】

また、斜め下から光吸収層 4 の下面の広い領域に渡って光を照射するので、図 13 の光導波路型の半導体受光素子や、図 15 の薄い装荷光導波路 9 を有する装荷光導波路型の半導体受光素子と異なり、光吸収層 4 のある特定の一部分への電流集中が発生しない。その結果、ジュール熱による素子破壊を避けることが可能となる。

【 0 0 7 7 】

また、光のパワーの大きな部分を斜め下から光吸収層 4 に直接照射でき、かつ

光の一部を光吸収層 4 や光導波路層 1 5 に伝搬させて吸収させるので、図 1 5 の厚い装荷光導波路を有する装荷光導波路型の半導体受光素子や、図 1 9、図 2 0 の端面屈折型の半導体受光素子と比較して、受光感度が高く、結果的に短い光吸収長で済むので C R 時定数から制限される帯域が広い。

【 0 0 7 8 】

さらに、光導波路層 1 5 の厚み T は入射する光の直径よりも小さくても良いので、結晶成長への負担が小さく、半導体受光素子としての製作性が良い。なお、以下に記述する第 2 ～第 8 の各実施形態の半導体受光素子においてもこれらの特長を有している。

【 0 0 7 9 】

さらに、図 1 に示したように、上部クラッド層 3 と光吸収層 4 の界面において斜め下向きに反射された光は、屈折率の高い光導波路層 1 5 と屈折率の低い基板 1 1 の界面において再度斜め上向きに反射され、光吸収層 4 において再度吸収されることを繰り返し、受光感度向上に寄与する。なお、以下に記述する第 2 ～第 8 の各実施形態の半導体受光素子においてもこれらの特長を有している。

【 0 0 8 0 】

(第 2 実施形態)

図 6 は本発明の第 2 実施形態に係わる半導体受光素子の概略構成を示す横断面図である。図 1 に示す第 1 実施形態の半導体受光素子と同一部分には同一符号を付して、重複する部分の詳細説明を省略する。

【 0 0 8 1 】

この第 2 実施形態の半導体受光素子においては、図 1 に示す第 1 実施形態の半導体受光素子における台座 1 6 の代りに、半導体受光素子を水平に保持する筐体 1 7 を設け、光ファイバ 1 8 から基板 1 1 と光導波路層 1 5 と光吸収層 4 の少なくとも 1 つの端面で形成される光入射端面 1 2 に光を傾斜させて入射させている。

【 0 0 8 2 】

このように構成された半導体受光素子において、光ファイバ 1 8 から光入射端面 1 2 に入射した光はこの光入射端面 1 2 で屈折され、光導波路層 1 5 を経由し

て上方に位置する光吸収層 4 に斜め下から入射し、吸収される。

【0083】

この第 2 実施形態の半導体受光素子においても、光導波路層 15 の屈折率 n_{15} を光吸収層 4 の上に位置する上部クラッド層 3 の屈折率 n_3 より高くすることにより、上部クラッド層 3 と光吸収層 4 との界面において光を反射させるとともに、入射した光の一部を光吸収層 4 内や光導波路層 15 内に伝搬させている。そのため、光の反射や光の水平方向の伝搬を光吸収に利用するので実効的な吸収長は長くなり、光受光素子としての感度が大幅に改善される。

【0084】

(第 3 実施形態)

図 7 は本発明の第 3 実施形態に係わる半導体受光素子の概略構成を示す横断面図である。図 6 に示す第 2 実施形態の半導体受光素子と同一部分には同一符号を付して、重複する部分の詳細説明を省略する。

【0085】

この第 3 実施形態の半導体受光素子においては、図 6 に示す第 2 実施形態の半導体受光素子における筐体 17 と基板 11 との間にくさび型の台座 16 を介在させて、光入射端面 12 を傾斜させている。

【0086】

このように、光入射端面 12 を傾斜させることによって、光ファイバ 18 から出力される入射光と半導体受光素子の光入射端面 12 とのなす角度が小さくなり、所望の角度が容易に実現できる利点がある。

【0087】

この第 3 実施形態の半導体受光素子においても、光が入射した光導波路層 15 の屈折率 n_{15} を光吸収層 4 の上に位置する上部クラッド層 3 の屈折率 n_3 より高くすることにより、上部クラッド層 3 と光吸収層 4 との界面において光を反射させるとともに、その入射した光の一部を光吸収層 4 内や光導波路層 15 内に伝搬させている。そのため、光の反射や光の水平方向の伝搬を光吸収に利用するので実効的な吸収長は長くなり、光受光素子としての感度が大幅に改善される。

【0088】

(第 4 実施形態)

図 8 は本発明の第 4 実施形態に係わる半導体受光素子の概略構成を示す横断面図である。図 1 に示す第 1 実施形態の半導体受光素子と同一部分には同一符号を付して、重複する部分の詳細説明を省略する。

【 0 0 8 9 】

この第 4 実施形態の半導体受光素子においては、基板 1 1 と n-InGaAsP からなる光導波路層 1 5 と光吸収層 4 の少なくとも 1 つの端面を含む光入射端面 1 2 を、図 1 9、図 2 0 に示した従来の半導体受光素子と同様に、ウェットエッチングで形成している。したがって、光入射端面 1 2 と光吸収層 4 の下面とのなす角度は、結晶方位で定まる約 5 4 度である。さらに、光吸収層 4 への小さな入射角を実現するために、台座 1 6 を用いて受光素子全体を傾斜させている。

【 0 0 9 0 】

さらに、この第 4 実施形態の半導体受光素子は、図 1 9、図 2 0 に示した従来の半導体受光素子によく似てはいるが、第 1、第 2、第 3 実施形態の各半導体受光素子と同様に、光が入射した光導波路層 1 5 の屈折率 n_{15} を光吸収層 4 の上に位置する上部クラッド層 3 の屈折率 n_3 より高くすることにより、上部クラッド層 3 と光吸収層 4 との界面において光を反射させるとともに、その入射した光の一部を光吸収層 4 内や光導波路層 1 5 内に伝搬させている。そのため、光の反射や光の水平方向の伝搬を光吸収に利用するので実効的な吸収長は長くなり、光受光素子としての感度が大幅に改善される。

【 0 0 9 1 】

(第 5 実施形態)

図 9 は本発明の第 5 実施形態に係わる半導体受光素子の概略構成を示す横断面図である。図 8 に示す第 4 実施形態の半導体受光素子と同一部分には同一符号を付して、重複する部分の詳細説明を省略する。

【 0 0 9 2 】

この第 5 実施形態の半導体受光素子においては、基板 1 1 と n-InGaAsP からなる光導波路層 1 5 と光吸収層 4 の少なくとも 1 つの端面を含む光入射端面 1 2 を、図 8 に示した第 4 実施形態の半導体受光素子と同様に、ウェットエッチングで

形成している。しかし、このこの第5実施形態においては、ウェットエッチング時間を規定時間より短く設定している。

【0093】

したがって、光入射端面12と光導波路層15の上面（光吸収層4の下面）とのなす角度は、90度未満でかつ結晶方位で定まる約54度より大きな角度である。なお、54度より大きな角度は結晶方位を選択することによっても実現できる。その結果、図8の第4実施形態では必要であった台座16が不要となり、実装が容易となる。

【0094】

さらに、この第5実施形態の半導体受光素子においても、第4実施形態の半導体受光素子と同様に、上部クラッド層3よりも高い屈折率を有する光導波路層15を用いることにより、光の反射や光の水平方向の伝搬を光吸収に利用するので実効的な吸収長は長くなり、光受光素子としての感度が大幅に改善される。

【0095】

（第6実施形態）

図10は本発明の第6実施形態に係わる半導体受光素子の概略構成を示す横断面図である。図1に示す第1実施形態の半導体受光素子と同一部分には同一符号を付して、重複する部分の詳細説明を省略する。

【0096】

この第6実施形態の半導体受光素子においては、 n -InGaAsPからなる複数の光導波路層15と、 n -InPからなる複数の下部クラッド層19を交互に組合わせることにより、この光受光素子に光が入射する際に、この光が等価的に感じる屈折率を p -InPからなる上部クラッド層3の屈折率よりも大きくしている。

【0097】

このように、基板11と光吸収層4との間に存在する下部半導体層を、互いに異なる材料で多層構造とすることにより、基板11上に光導波路層15及び下部クラッド層19を含む下部半導体層を結晶成長で形成していく製造工程における結晶性の改善による製造効率を向上させることが可能である。

【0098】

(第 7 実施形態)

図 1 1 は本発明の第 7 実施形態に係わる半導体受光素子の概略構成を示す横断面図である。図 7 に示す第 3 実施形態の半導体受光素子と同一部分には同一符号を付して、重複する部分の詳細説明を省略する。

【 0 0 9 9 】

この第 7 実施形態の半導体受光素子においては、レンズホルダ 2 0 にレンズ 2 1 が固定されており、光ファイバ 1 8 はホルダ 2 2 の中に入っている。本来は、光ファイバ 1 8 はフェルールに固定した後、ホルダ 2 2 に入れるが、簡単のためここではフェルールを省略した。レンズホルダ 2 0 とフェルール、すなわち光ファイバ 1 8 の相対的な位置関係を設定することにより、入射光が光入射端面 1 2 に入射する際の位置と傾きの少なくとも一方を調整できるので、ひいては入射光を効率良く光吸収層 4 に照射できる。

【 0 1 0 0 】

なお、この第 7 実施形態の半導体受光素子は図 7 に示した第 3 の実施形態を応用したが、台座 1 6 を用いない実施形態を含め他の各実施形態にも応用できることは勿論である。

【 0 1 0 1 】

(第 8 実施形態)

図 1 2 は本発明の第 8 実施形態に係わる半導体受光素子の概略構成を示す横断面図である。図 1 に示す第 1 実施形態の半導体受光素子と同一部分には同一符号を付して、重複する部分の詳細説明を省略する。

【 0 1 0 2 】

この第 8 実施形態の半導体受光素子においては、光入射端面 1 2 を構成する光導波路層 4 及び基板 1 1 の端面の位置を、コンタクト層 2、上部クラッド層 3 及び光吸収層 4 の端面の位置に比較して、入射光側に移動させている。

【 0 1 0 3 】

このような構成においても、光入射端面 1 2 から入射した光が前述した条件で光吸収層 4 へ入射して、上部クラッド層 3 と光吸収層 4 との界面において光を反射させるとともに、その入射光の一部を光吸収層 4 内や光導波路層 1 5 内に伝搬

させることが可能であるので、第 1 実施形態の半導体受光素子とほぼ同様の効果を奏することが可能である。

【 0 1 0 4 】

なお、本発明は上述した各実施形態に限定されるものではない。

すなわち、上述した各実施形態においては、光導波路層 1 5 の材料として、n-InGaAsP を採用したが、この n-InGaAsP の代わりに、p-InP からなる上部クラッド層 3 よりも屈折率が高い他の全ての材料を使用できる。例えば、バンドギャップ波長が $1.2 \mu\text{m}$ 以外の n-InGaAsP やその他 n-InGaAlAs、n-InAlAs などを用いても良いことは言うまでもない。

【 0 1 0 5 】

さらに、上述した各実施形態においては、光吸収層 4 と上部クラッド層 3 の界面において光は反射あるいは水平伝搬されたとしたが、発生したキャリアが無駄になるコンタクト層 2 に光が入射する前に反射あるいは水平伝搬されるような層構成であればよいと考えられる。このような層構成の 1 例としては、光吸収層 4 の上に p-InGaAsP (あるいは i-InGaAsP、p-InGaAlAs や i-InGaAlAs) のように屈折率が InP よりも高い層を形成し、その上に p-InP を形成した構造が考えられる。

【 0 1 0 6 】

また、入射光と光入射端面 1 2 のなす角度についても、各実施形態の半導体受光素子で説明した数値のみでなく、本発明の原理が成り立つ限り、その他の角度でもよいことは言うまでもない。

【 0 1 0 7 】

なお、上述した各実施形態においては、光吸収層 4 の下に n-InP からなる下部クラッド層 5 がないと仮定したが十分に薄ければ介在させても差し支えない。

【 0 1 0 8 】

また、上述した各実施形態において、光を半導体受光素子に結合 (入射) させるには、先球ファイバ、平面ファイバなどの他、レンズ系を用いても良いことは言うまでもないし、使用波長は $1.55 \mu\text{m}$ のみでなく、その他の波長でも良いことは言うまでもない。さらに、光吸収層 4 の材料としては、上述した i-InGaAs の他に、3 元混晶 p-InGaAs や、p-InGaAsP、p-InGaAlAs などの 4 元混晶のほか、各

種多重量子井戸でも良いことは言うまでもない。

【 0 1 0 9 】

上述した各実施形態においては、光吸収層 4 がハイメサ構造となっているが、半絶縁性 InP や pn 埋め込みの構造としても良いし、基板 1 1 としては主に半絶縁性 InP を想定して説明したが、勿論 n^+ -InP でも良い。

【 0 1 1 0 】

また、高濃度の n タイプの半導体は屈折率がやや小さくなることを利用して、光吸収層 4 の上に n 型もしくは n^+ 型の半導体層を、光吸収層の下に p 型もしくは p^+ 型の半導体層を形成してもよい。例えば、光吸収層の上に n^+ -InP の上部クラッド層を形成することが考えられる。

【 0 1 1 1 】

その場合には、上述した各実施形態において、コンタクト層 2 を n^+ -InGaAs で形成し、上部クラッド層 3 を n^+ -InP で形成し、下部クラッド層 5 を p-InP (但し、この層はあってもなくても良い) で形成し、光導波路層 1 5 を、p-InP あるいは p^+ -InP としても良いし、p-InGaAsP あるいは p^+ -InGaAsP など屈折率を高めることができればどの材料でも良いことは言うまでもない。さらに、基板 1 1 として、 p^- -InP あるいは p^+ -InP を使用しても良い。

【 0 1 1 2 】

さらに、オーミックコンタクトを実現する際のアロイ化のために、 p^+ -InGaAs からなるコンタクト層 2 は結晶性が劣化するとともに、p 電極 1 とコンタクト層 2 の界面も平滑性が極めて悪い。

【 0 1 1 3 】

ところが、本発明では下側から斜め上に向かって伝播する光を半導体層の界面において反射あるいは水平伝搬させており、基本的に、光はこれらコンタクト層 2 や p 電極 1 とコンタクト層 2 の界面には達しないので光電変換に寄与しないキャリアや光の散乱損失を生じることがなく、光電変換の効率が極めて良い。

【 0 1 1 4 】

なお、斜め下から斜め上方に向かって伝搬する光のごく一部が上部クラッド 3 側に染み出したとしても本発明の範囲と考えられる。

【 0 1 1 5 】

また、光導波路層 1 5 を光吸収層 4 の上側に位置させる等の、これまでの各実施形態の構造を上下逆にしても本発明として機能することは言うまでもない。

【 0 1 1 6 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の半導体受光素子においては、光吸収層を取り巻く各層の屈折率及び入射光の入射角を調整することによって、光吸収層に入射された光の一部を光吸収層内と第 1 の半導体層内との少なくとも一方について第 2 の半導体層の下面に平行方向に伝搬させ、かつ光吸収層に入射された光の他の一部を第 2 の半導体層の下面で反射し光吸収層内及び第 1 の半導体層内を斜め方向に伝搬させている。

【 0 1 1 7 】

したがって、半導体受光素子に入射した光は、光吸収層内及び第 1 の半導体層内を伝搬される過程で、光吸収層の一部に集中することなく、光吸収層の広い範囲に亘って直接又はエバネッセント結合にて効率的に吸収され電流に変換される。よって、半導体受光素子の受光感度、耐光入力性、高速応答性、暗電流特性を大幅に向上できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 実施形態に係わる半導体受光素子の概略構成を示す横断面図

【図 2】

同第 1 実施形態に係わる半導体受光素子の動作を説明するための図

【図 3】

同第 1 実施形態に係わる半導体受光素子に入射した光の強度分布を示す図

【図 4】

同第 1 実施形態に係わる半導体受光素子の測定された受光感度特性を示す図

【図 5】

同第 1 実施形態に係わる半導体受光素子の他の動作を説明するための図

【図 6】

本発明の第 2 実施形態に係わる半導体受光素子の概略構成を示す横断面図

【図 7】

本発明の第 3 実施形態に係わる半導体受光素子の概略構成を示す横断面図

【図 8】

本発明の第 4 実施形態に係わる半導体受光素子の概略構成を示す横断面図

【図 9】

本発明の第 5 実施形態に係わる半導体受光素子の概略構成を示す横断面図

【図 1 0】

本発明の第 6 実施形態に係わる半導体受光素子の概略構成を示す横断面図

【図 1 1】

本発明の第 7 実施形態に係わる半導体受光素子の概略構成を示す横断面図

【図 1 2】

本発明の第 8 実施形態に係わる半導体受光素子の概略構成を示す横断面図

【図 1 3】

従来の半導体受光素子の概略構成を示す斜視図

【図 1 4】

同従来の半導体受光素子の問題点を説明するための図

【図 1 5】

他の従来の半導体受光素子の概略構成を示す斜視図

【図 1 6】

同他の従来の半導体受光素子の概略構成を示す横断面図

【図 1 7】

同他の従来の半導体受光素子の動作を説明するための図

【図 1 8】

同他の従来の半導体受光素子の動作特性を示す図

【図 1 9】

従来のさらに別の半導体受光素子の概略構成を示す横断面図

【図 2 0】

従来のさらに別の半導体受光素子の概略構成を示す横断面図

【図 2 1】

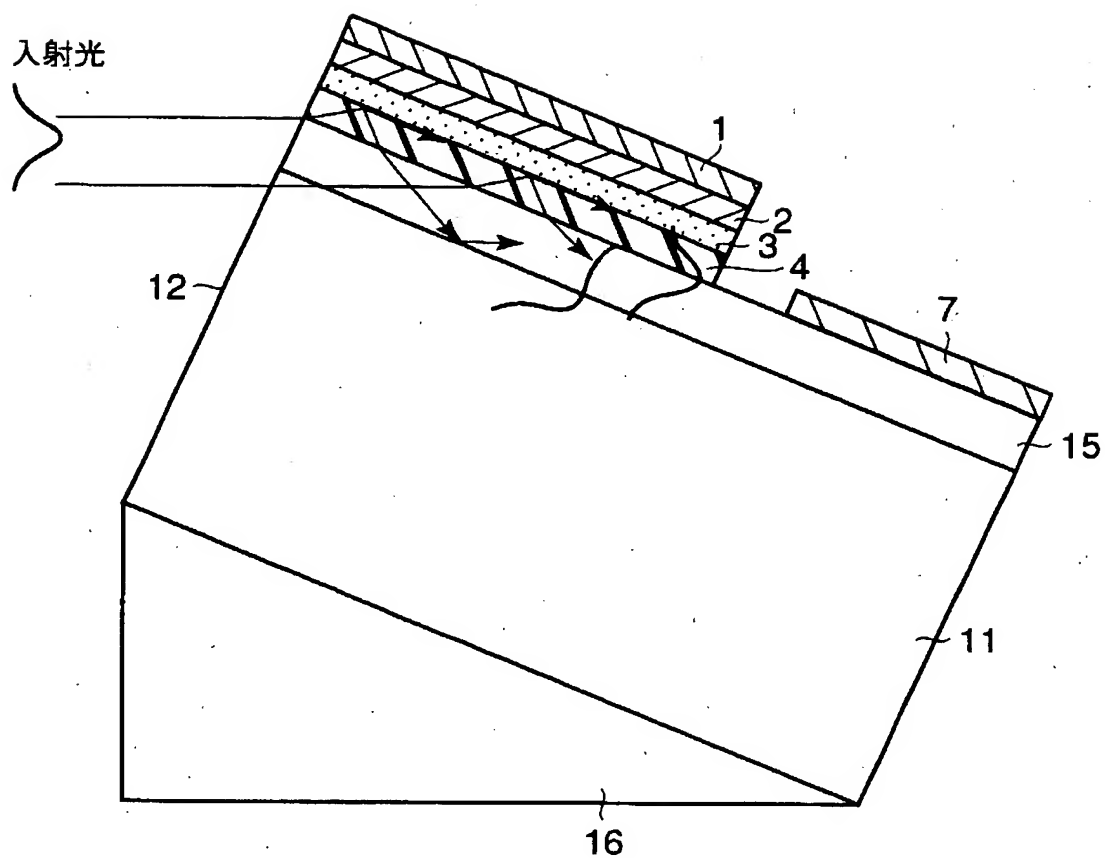
同従来半導体受光素子の動作を説明するための図

【符号の説明】

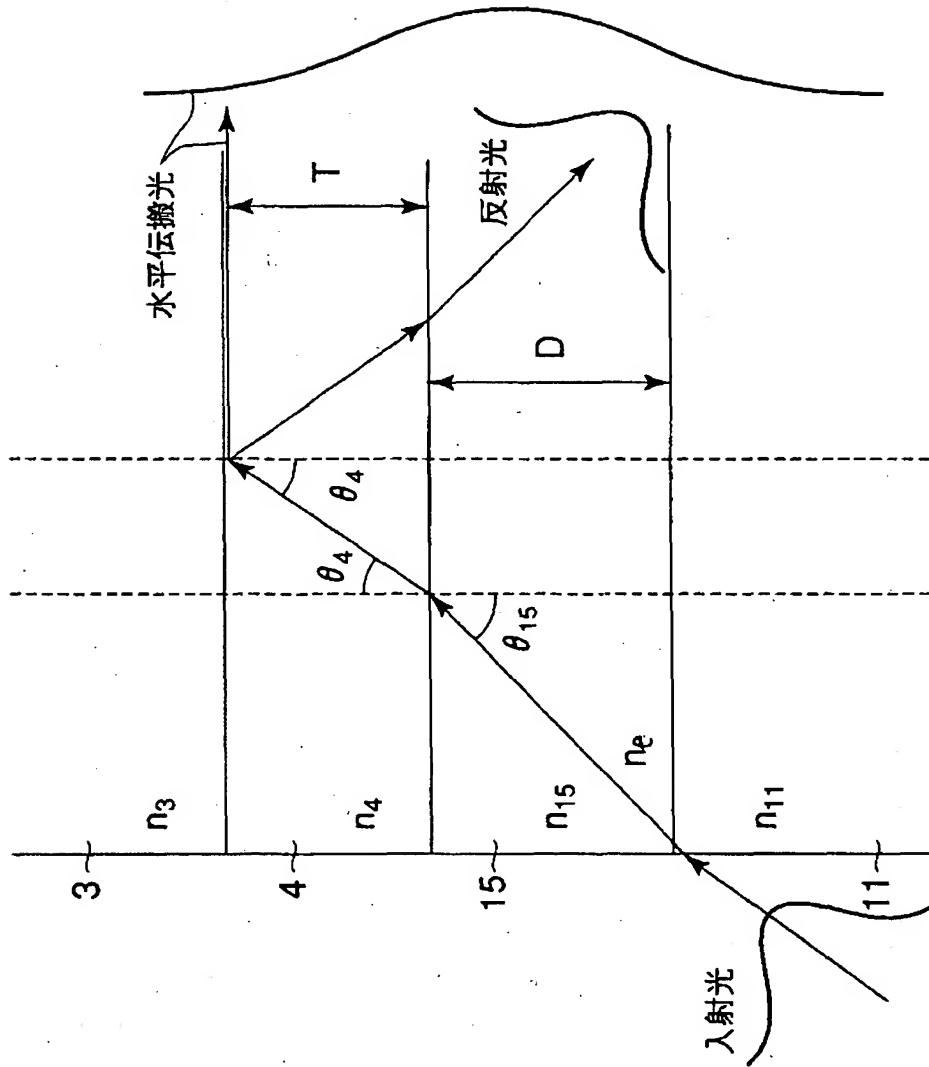
- 1 … p 電極
- 2 …コンタクト層
- 3 …上部クラッド層
- 4 …光吸収層
- 5、19 …下部クラッド層
- 6、11 …基板
- 7 … n 電極
- 8 …ポリイミド
- 9 …装荷光導波路層
- 12 …光入射端面
- 15 …光導波路層
- 16 …台座
- 17 …筐体
- 18 …光ファイバ
- 20 …レンズホルダ
- 21 …レンズ
- 22 …ホルダ

【書類名】 図面

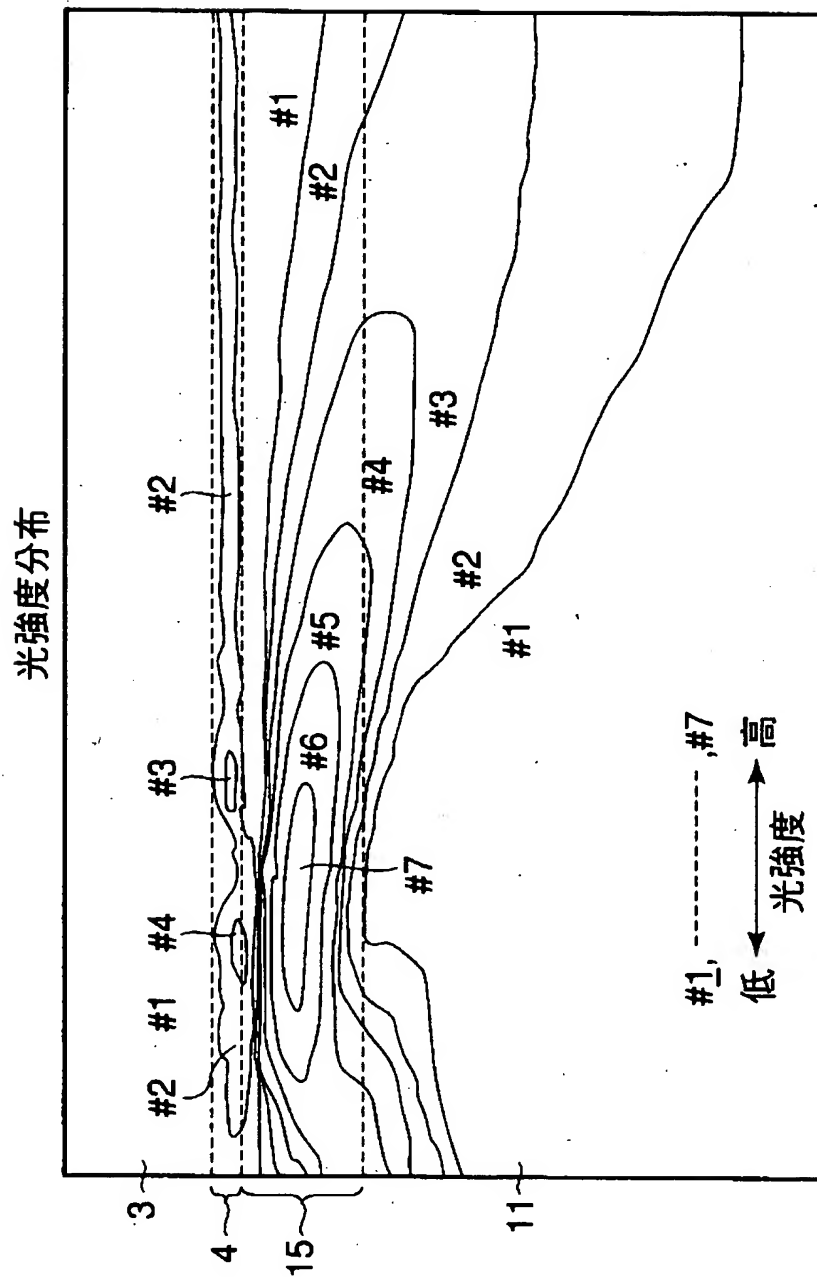
【図 1】



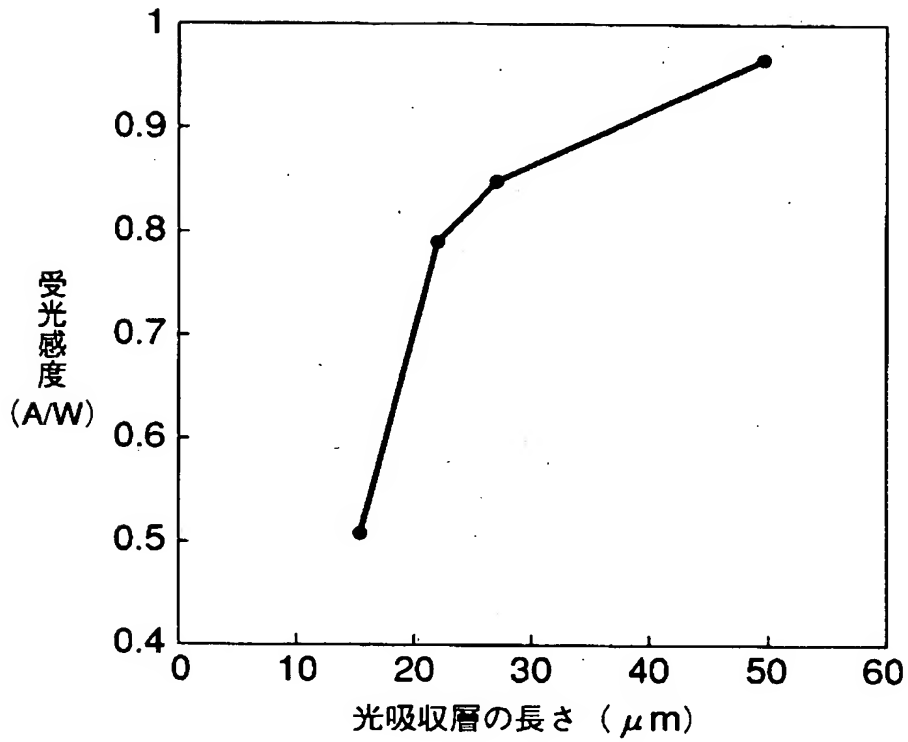
【図 2】



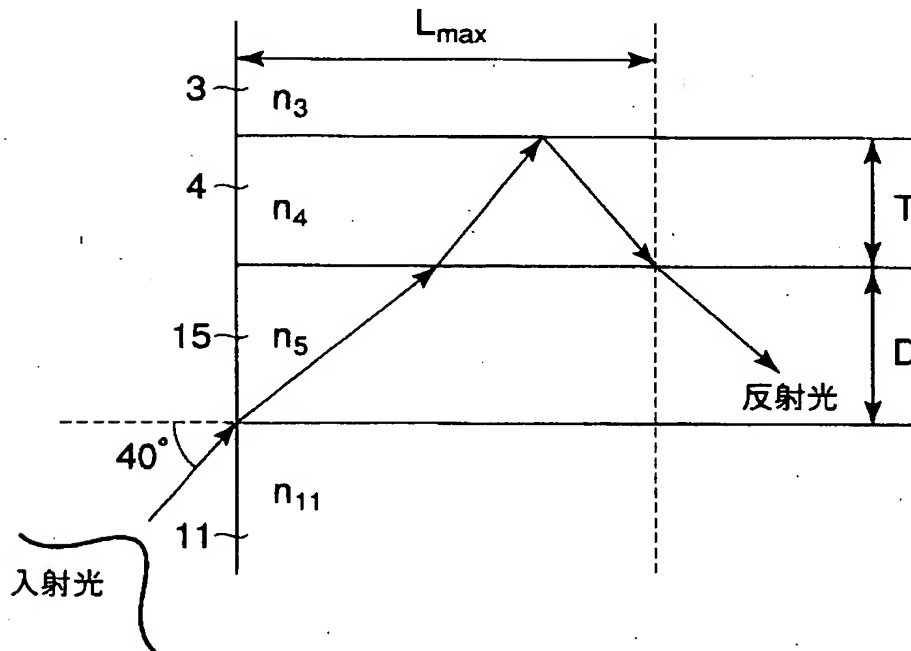
【図3】



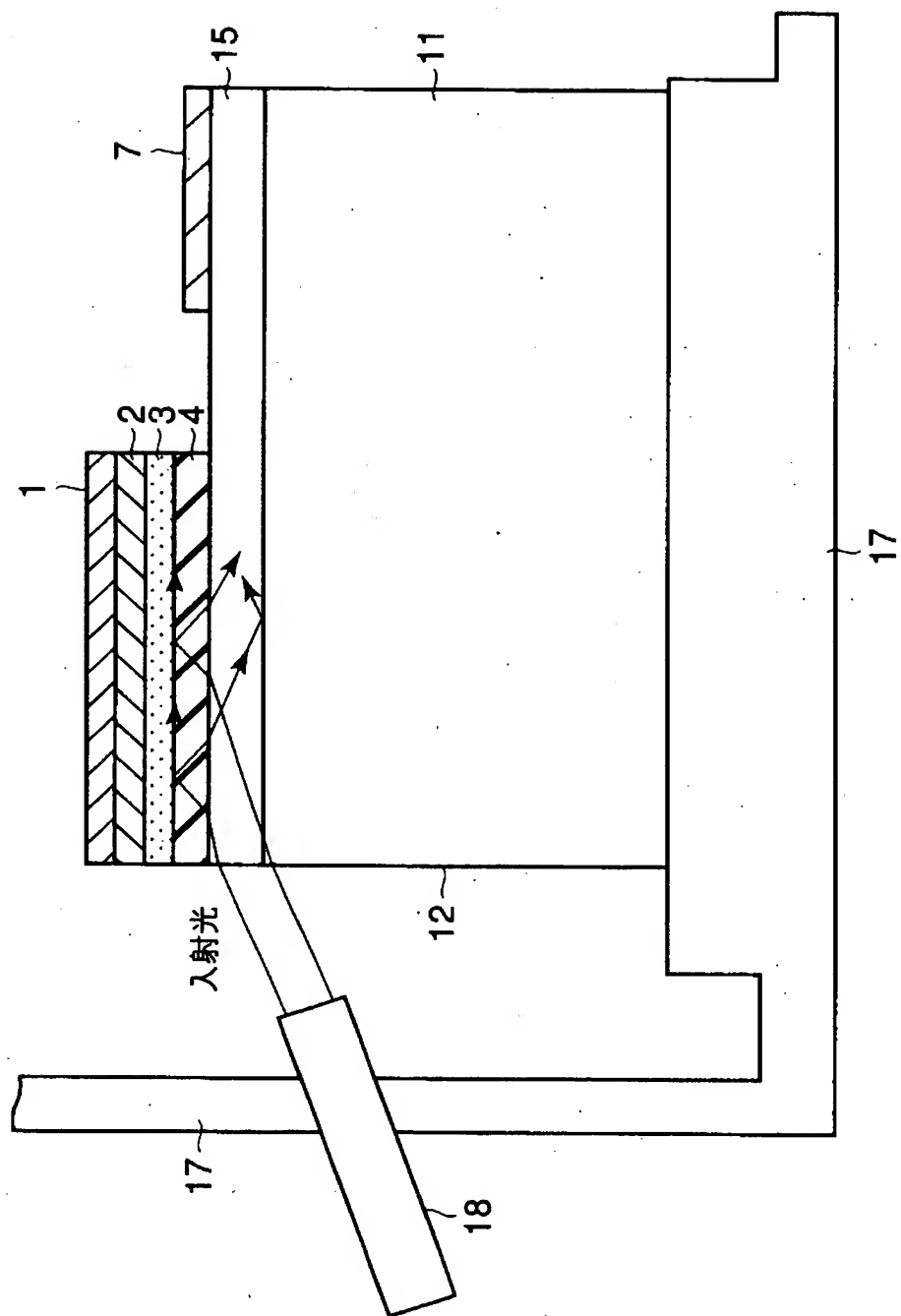
【図 4】



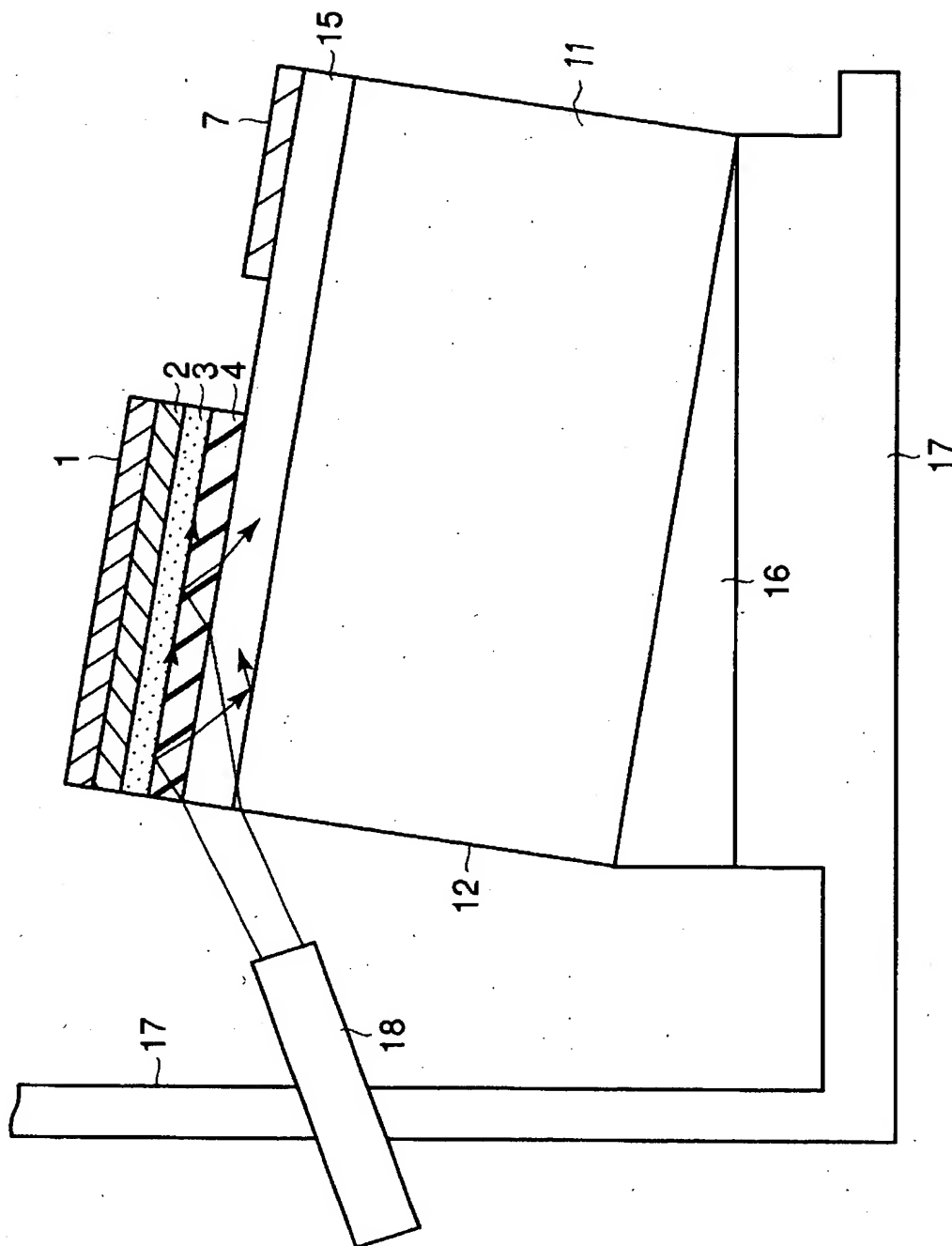
【図 5】



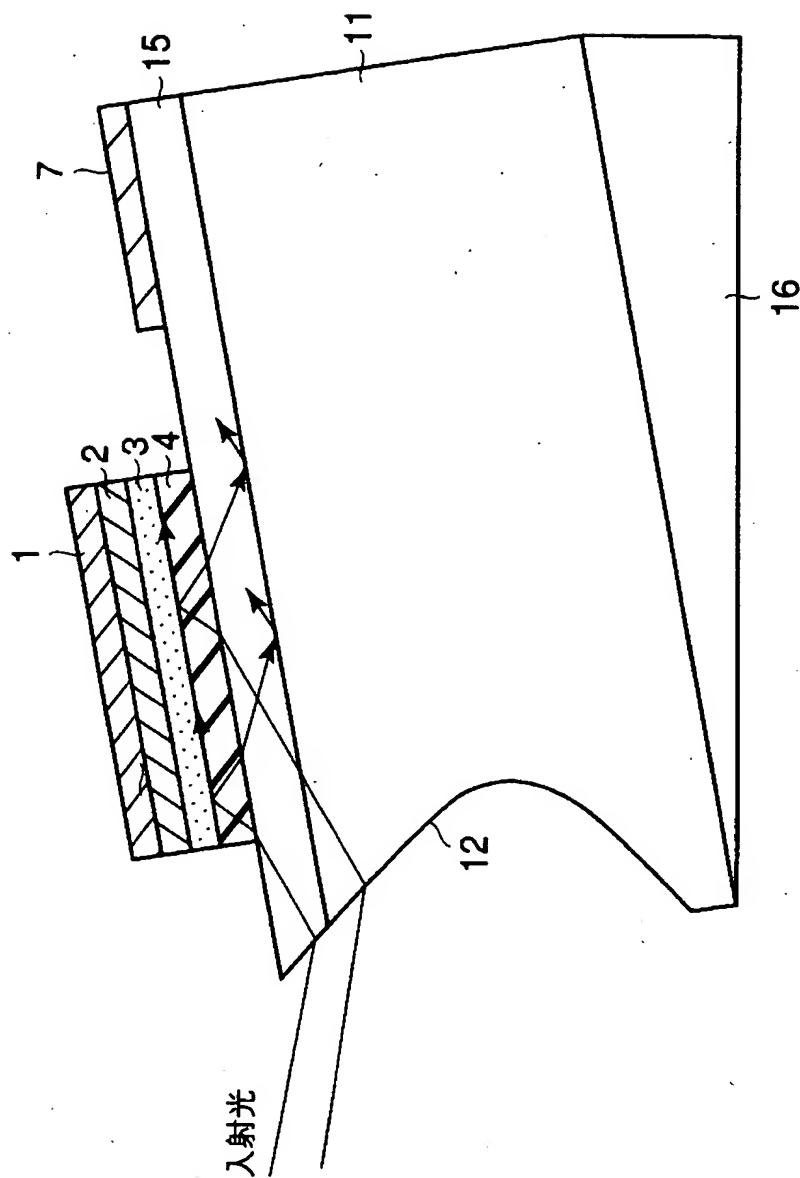
【図6】



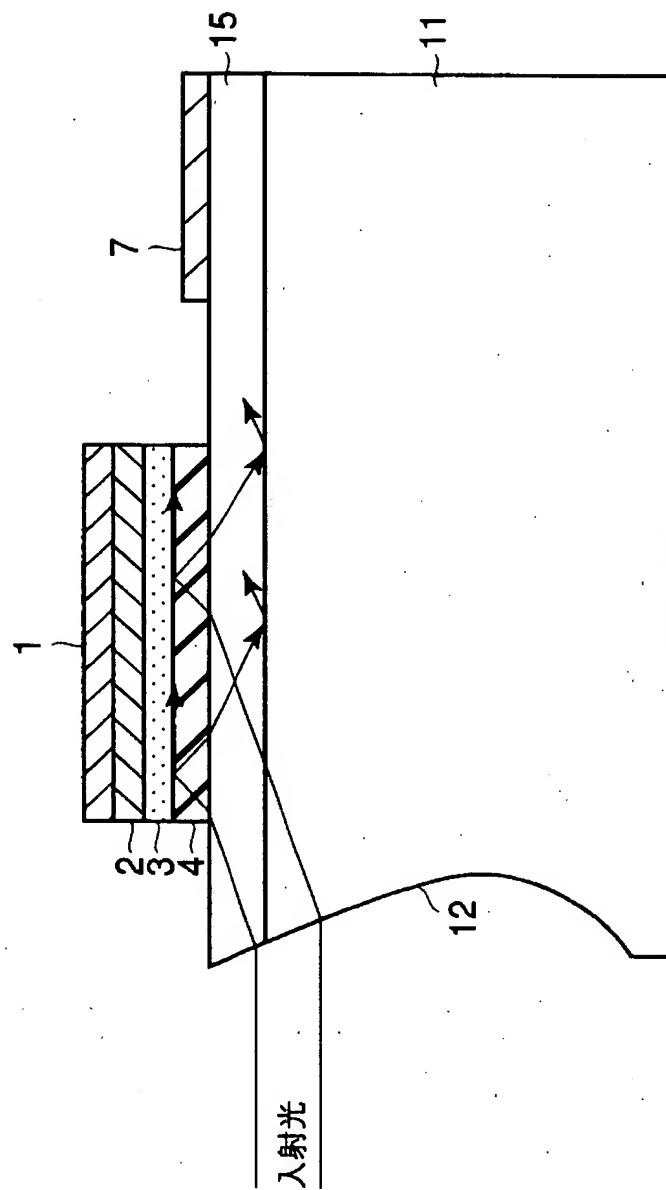
【図 7】



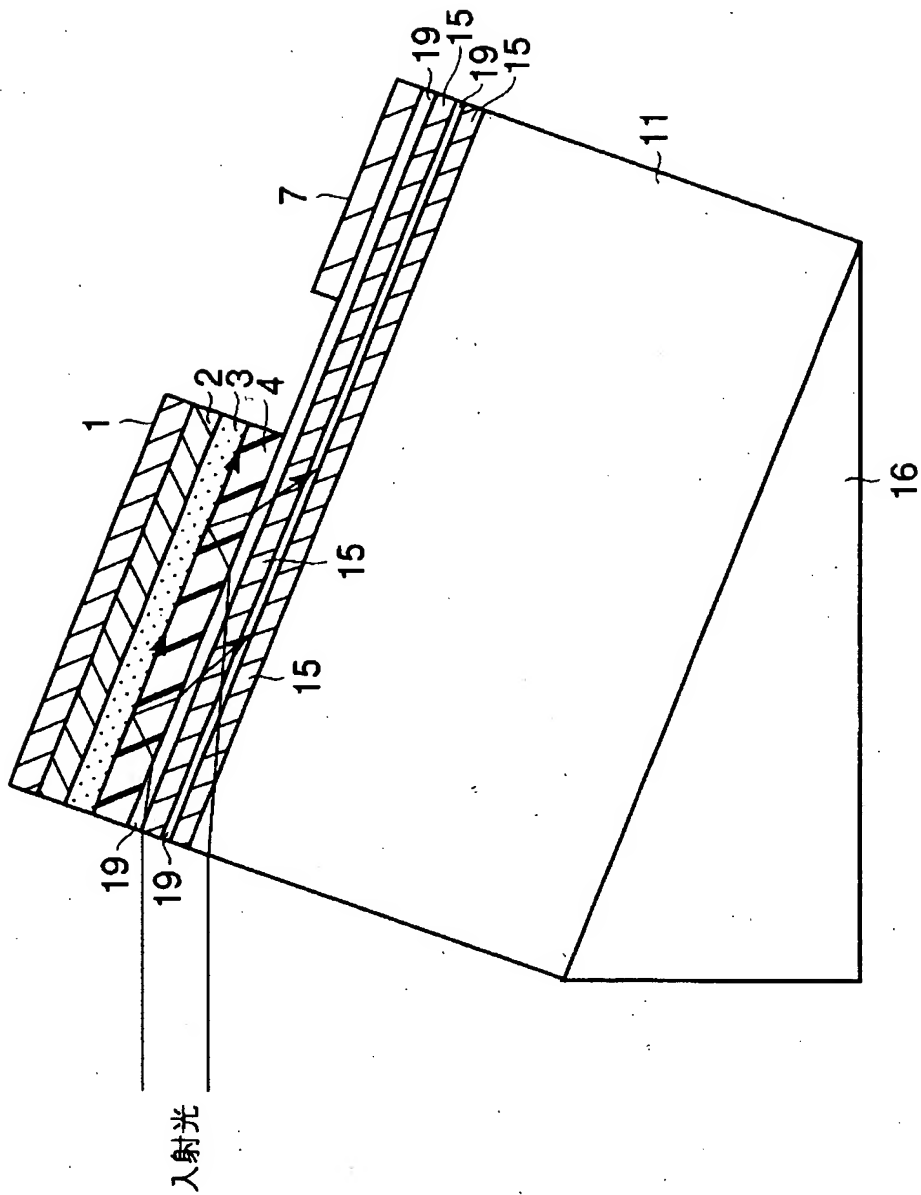
【図 8】



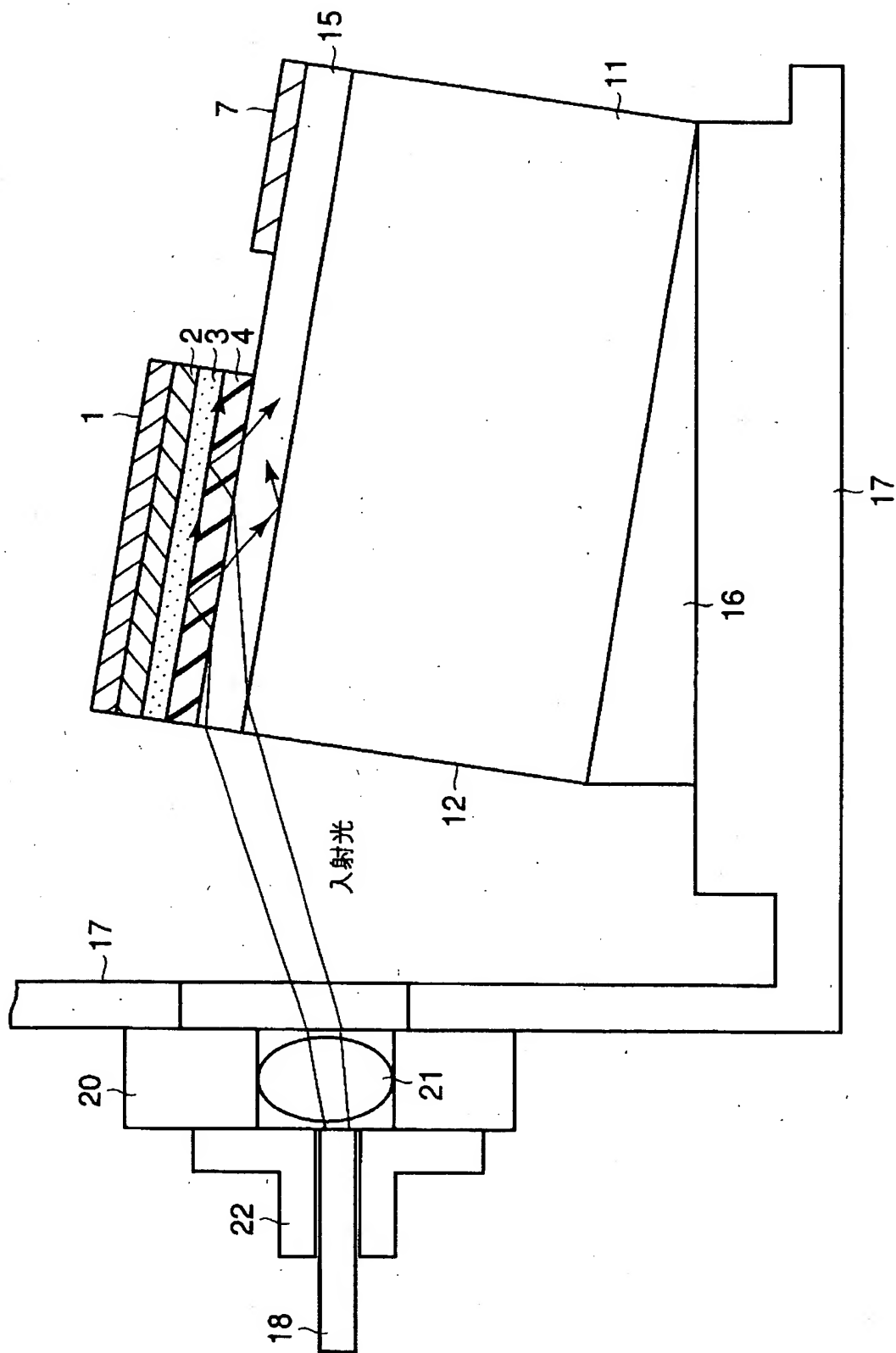
【図 9】



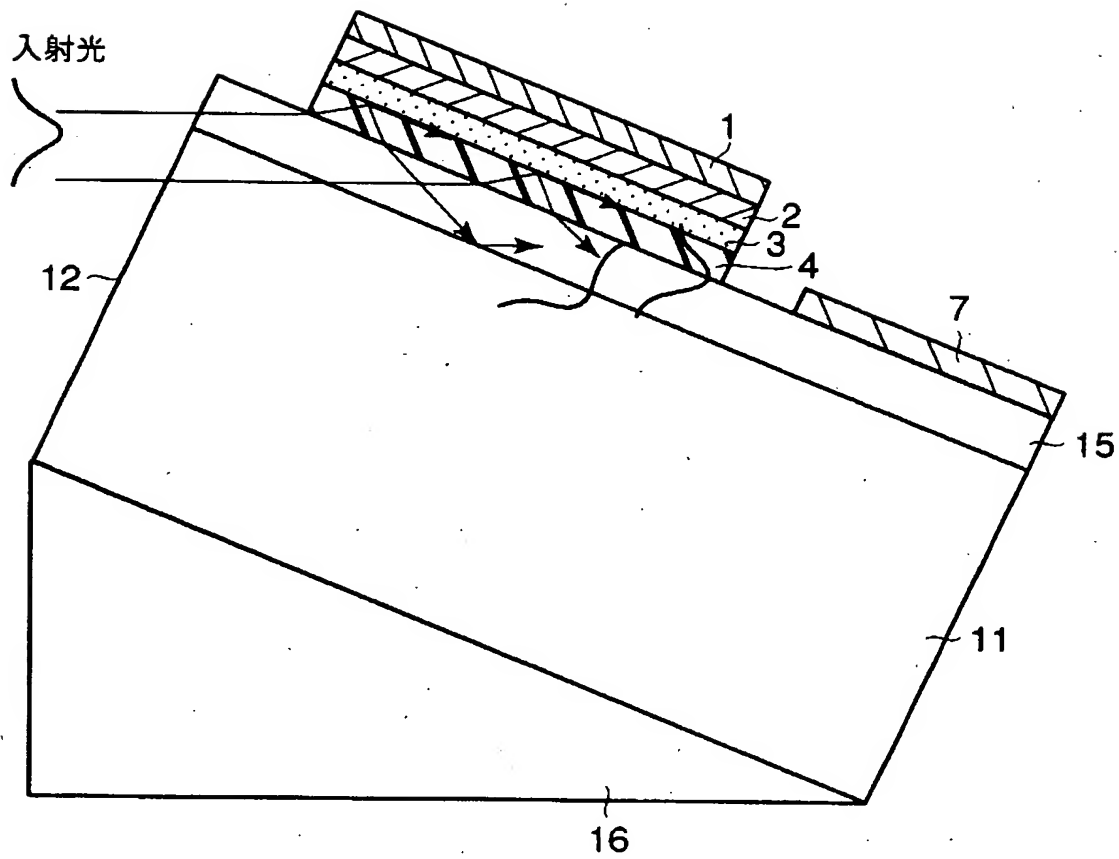
【図 10】



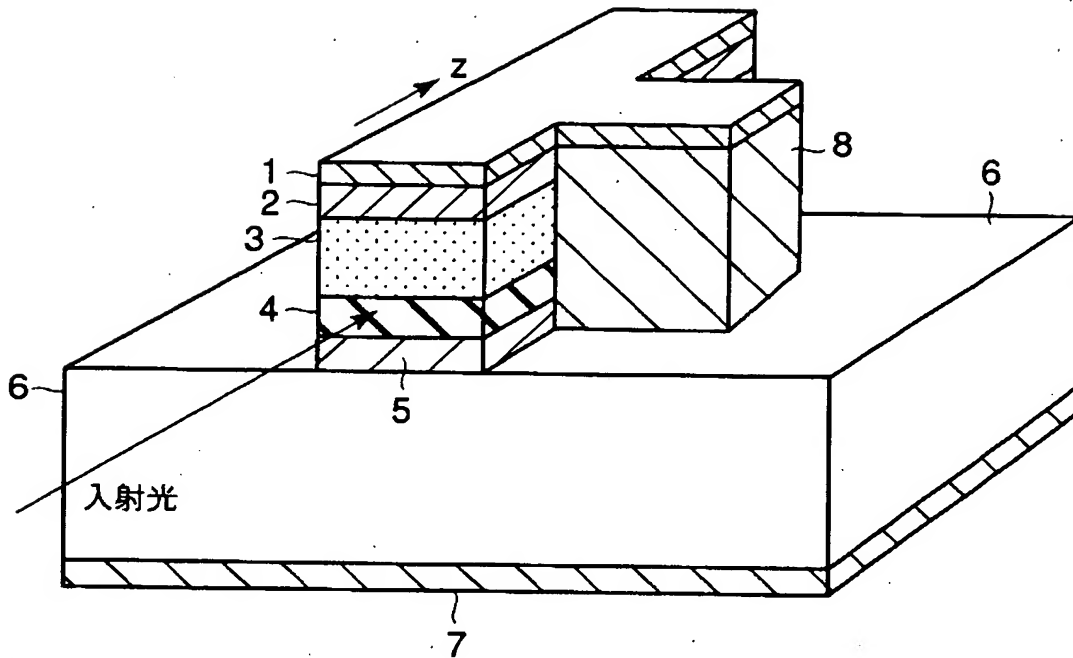
【図 11】



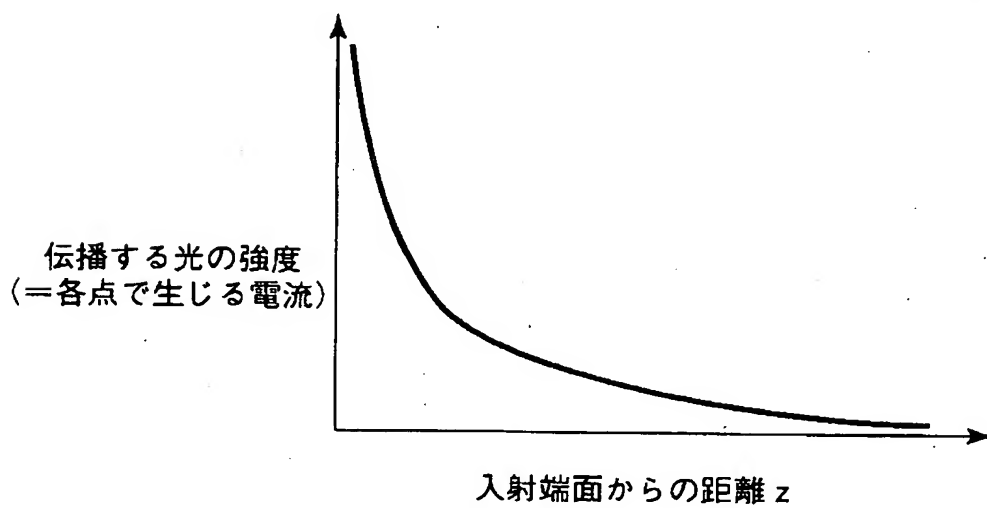
【図 1 2】



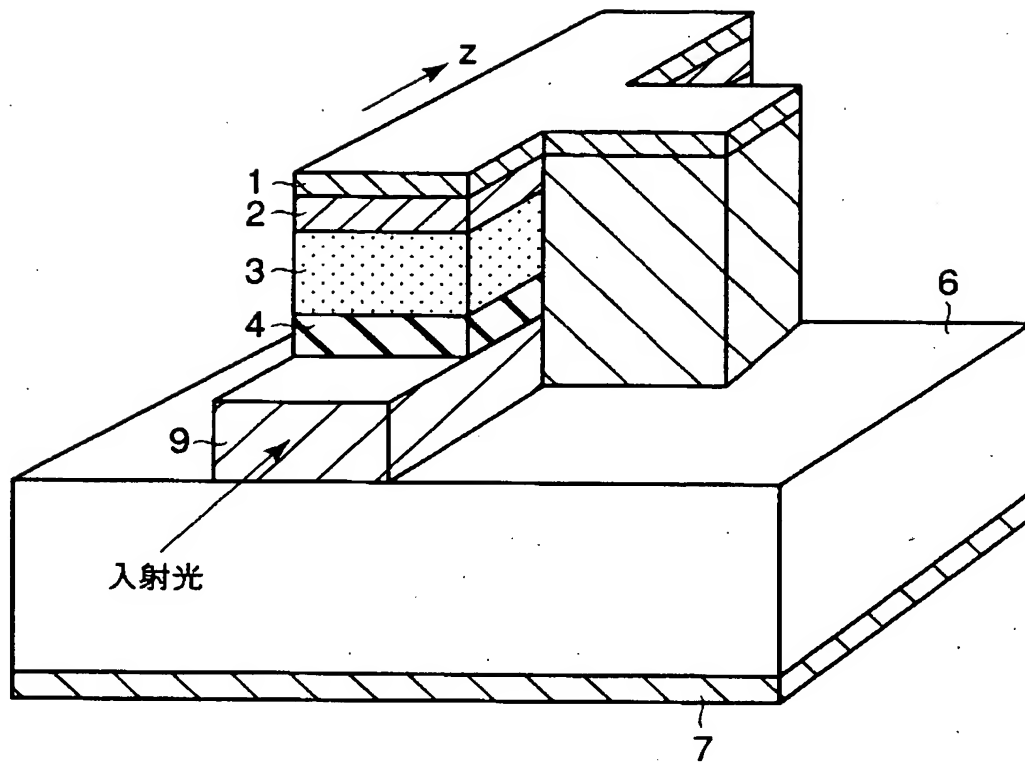
【図 13】



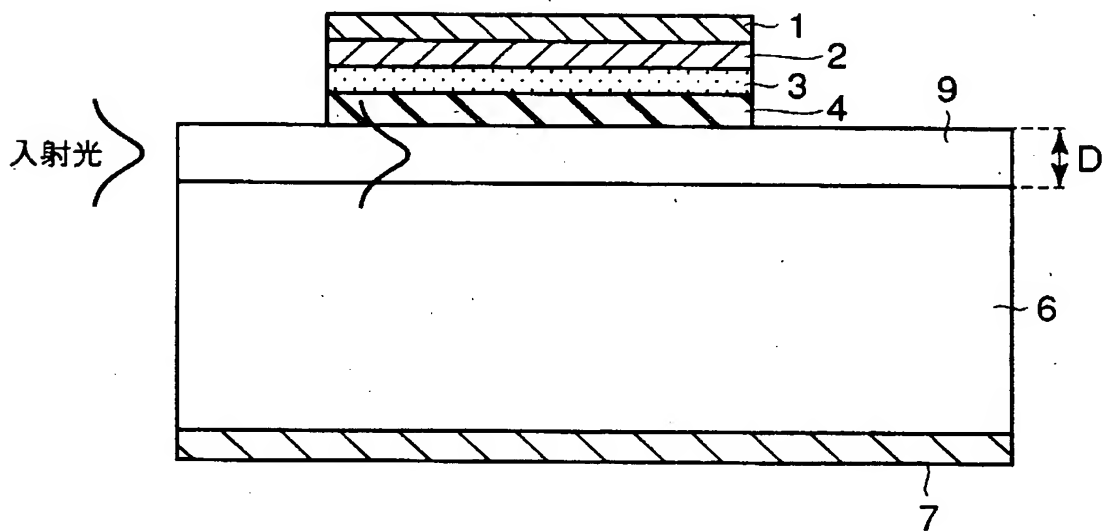
【図 14】



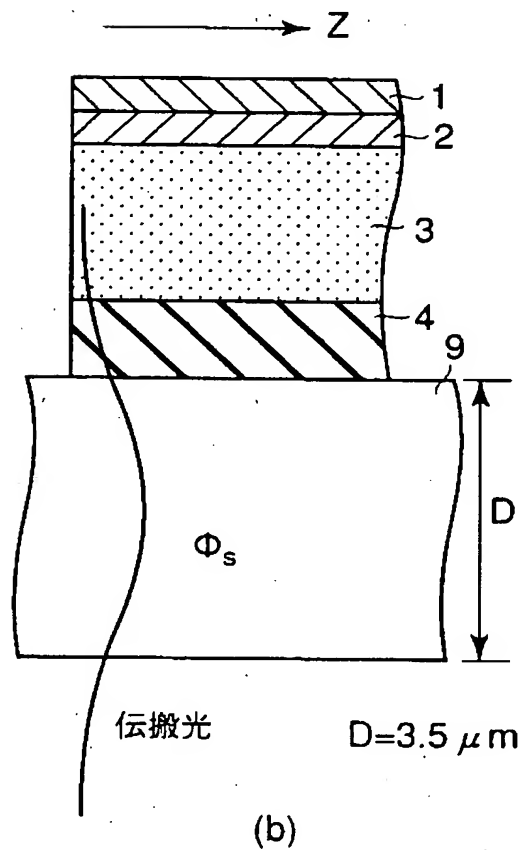
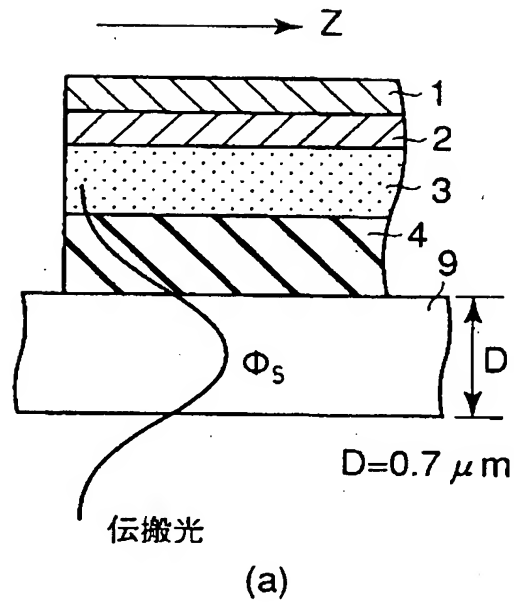
【図 15】



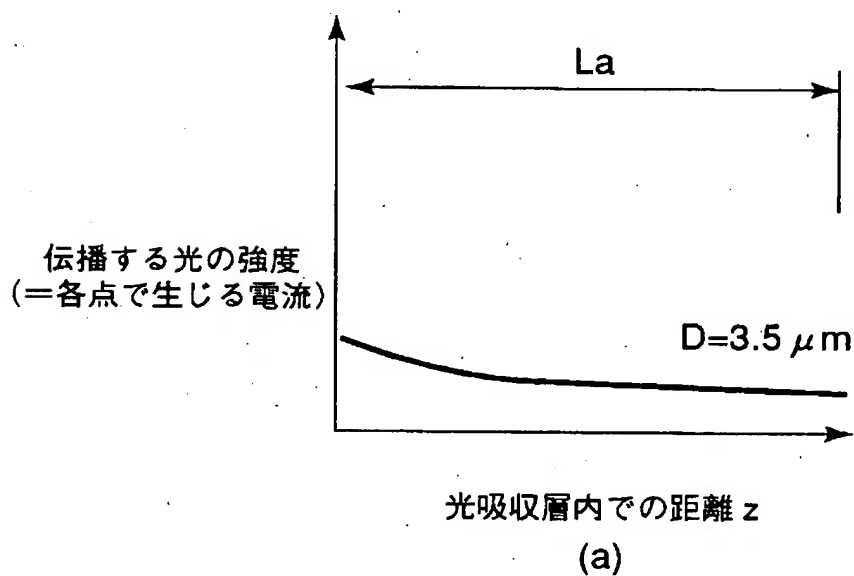
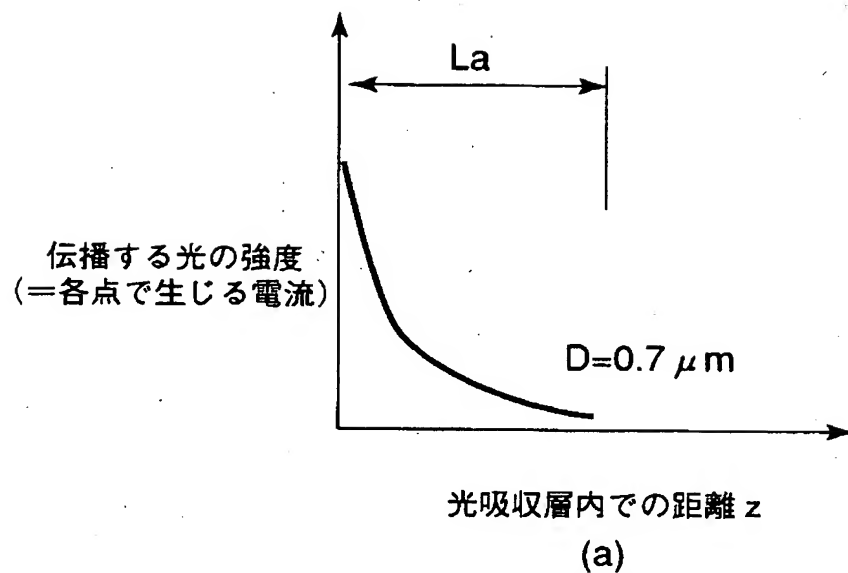
【図 16】



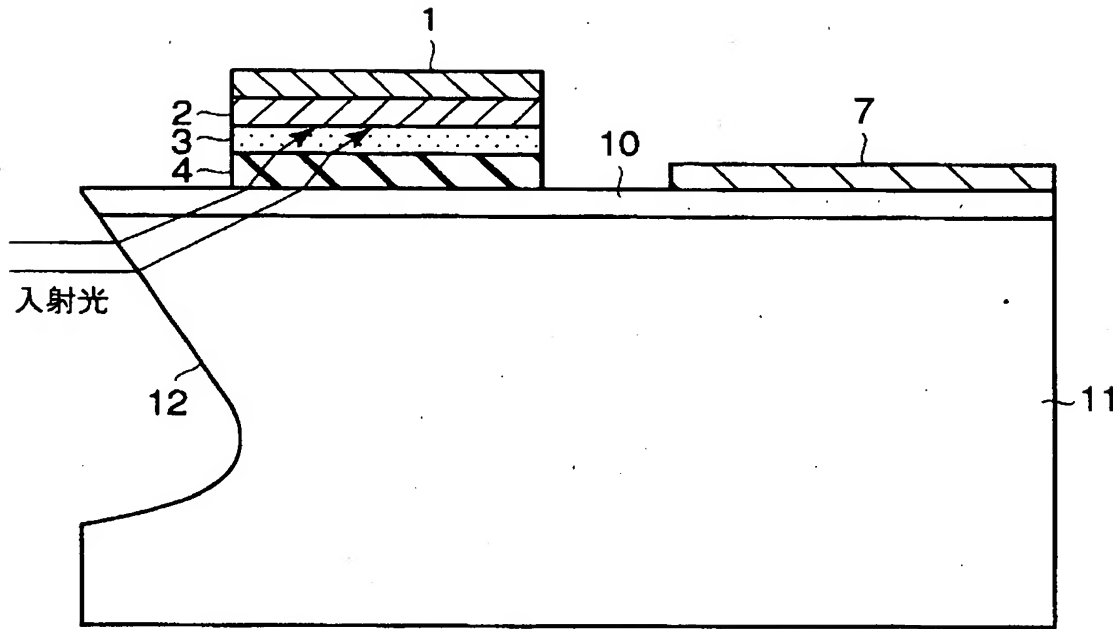
【図 17】



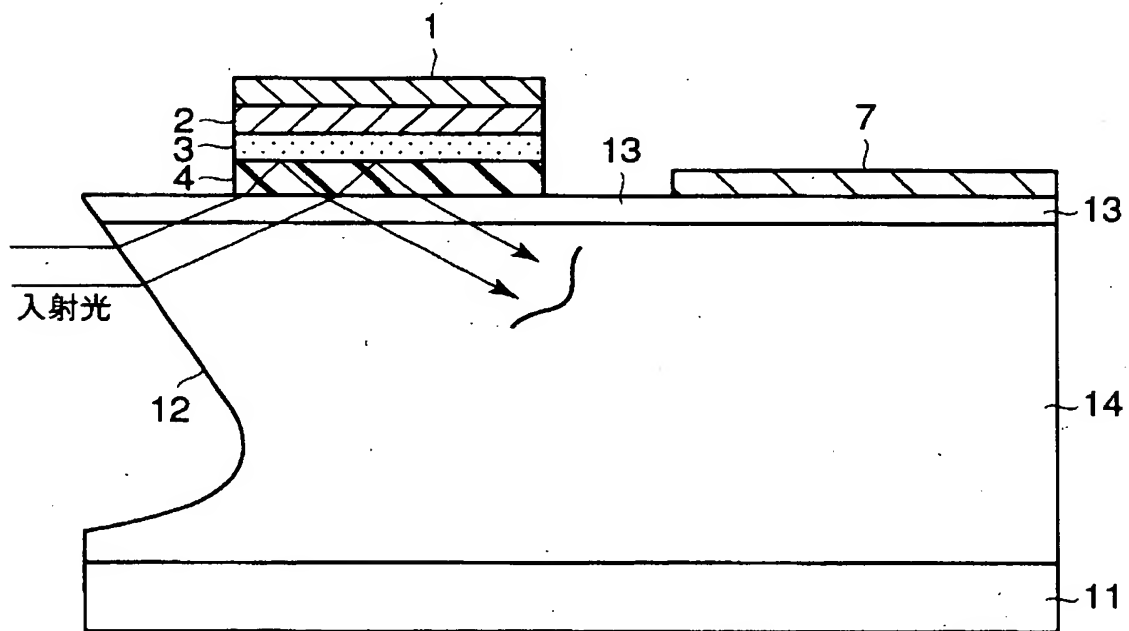
【図 18】



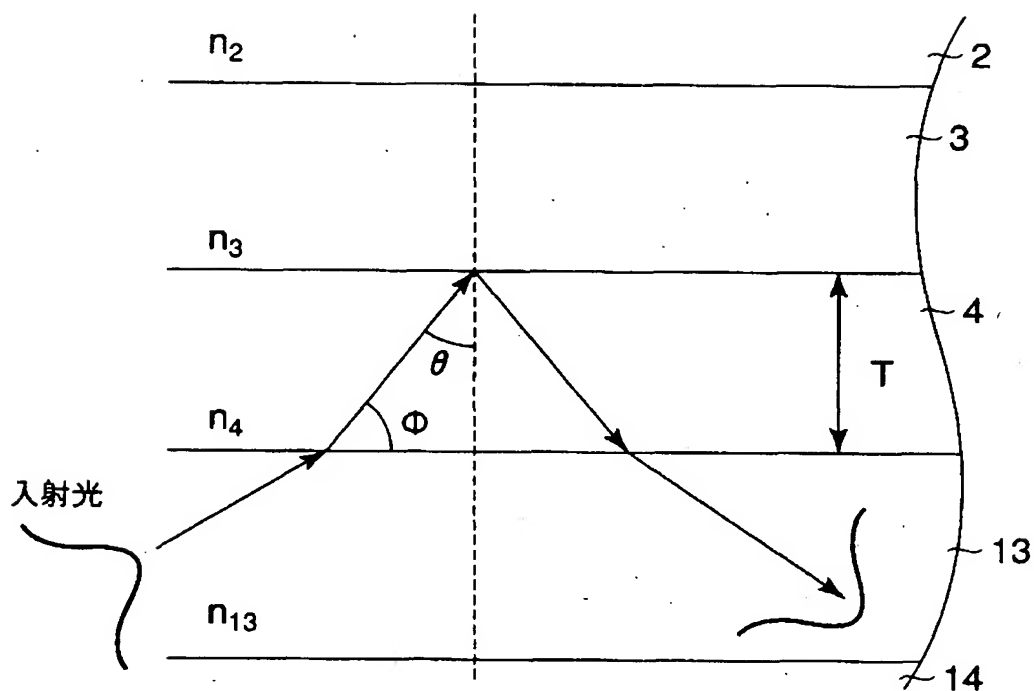
【図 1 9】



【図 2 0】



【図 21】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 小型で高効率の半導体受光素子を実現する。

【解決手段】 第1の半導体層15、光吸収層4、第2の半導体層3の各屈折率、及び入射光の入射角を調整することによって、光吸収層4に入射された光の一部を光吸収層4内と第1の半導体層15内との少なくとも一方を第2の半導体層3の下面に平行方向に伝搬させ、かつ光吸収層4に入射された光の他の一部を第2の半導体層3の下面で反射し光吸収層4内及び第1の半導体層15内を斜め方向に伝搬させている。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000000572]

1. 変更年月日 1990年 8月29日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都港区南麻布5丁目10番27号
氏 名 アンリツ株式会社